ЩЕТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Справочная информация

Rev. 02. 2 May 2022

Щетки электрических машин.

Представляют собой специальные электропроводящие детали токосъемного устройства, которое применяют для подвода и отвода тока на коллекторах и контактах, кольцах электрических вращающихся машин.

Классификация и параметры щеток.

Щетки классифицируются и зависимости от применяемых материалов и особенностей технологического процесса изготовления.

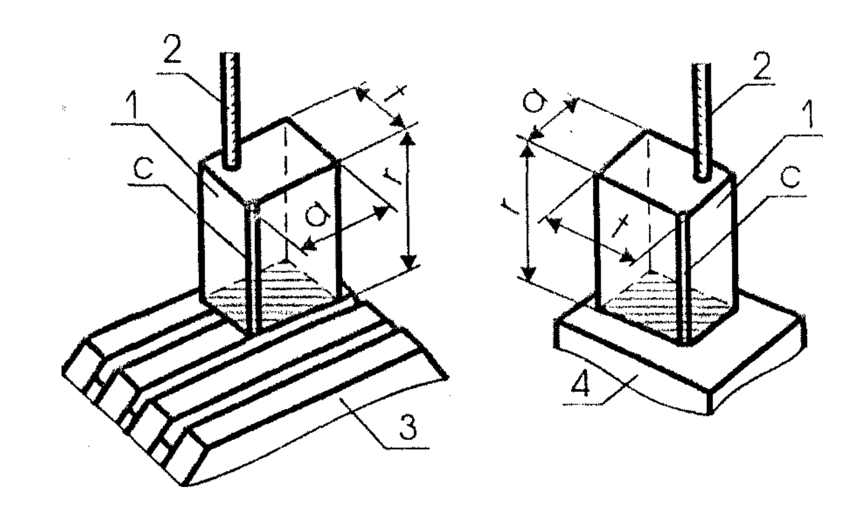
Конструкция щеток.

Конструкция и размеры щеток соответствуют ГОСТ 12232 – 89 и отраслевым стандартам. В зависимости от взаимной ориентировки граней и схемы расположения токоведущих проводов щетки электрически машин изготавливают различных типов. Обозначение размеров, наименование граней, поверхностей и арматуры щеток соответствует ГОСТ 21888 – 82.
Номинальные размеры щеток выбираются из ряда:

0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 30,0; 64,0; 100,0; 125,0.

Допускается изготовление щеток с другими размерами по согласованию с заказчиком. При заказе щеток потребитель должен указать марку щетки, обозначение технически условий на марку щетки, конструкцию щетки, ее размеры, $t \times a \times r$, марку и длину провода, тип наконечника и накладки, марку изоляционной трубки (при необходимости), обозначение чертежа (при их наличии)
Пример записи:
Щетка ЭГ841 ТУ16 – 538 – 84 М; К4 – 2; ПЩ1.0; L=71; 5ФГ; ТКР3,0; ИЛЕА 685.211.207.
Для разрезных щеток основные размеры указывают следующим образом $(2 \times t/2) \times a \times r$

Основные размеры щеток:
t – тангенциальный размер
a – аксиальный размер
r – радиальный размер
c – фаска
1 – щетка
2 – токоведущий провод
3 – коллектор
4 – кольцо



Класс щеток	Подкласс	Марка	Твердость	Удельное электрическое сопротивление *мкОм/м*	Коэфф. трения	Плотность тока *А/см²* не более	Номинальное давление на щетку *кПа*	Линейная скорость *м/с*	Преимущественная область применения
Металлографитные	Меднографитные	МГ	4 – 11	0,03 – 0,4	0,30	30	20	30	Контактные кольца асинхронных двигателей, стартеры до 6В и машины низкого напряжения с высокой плотностью тока в скользящем контакте и малой окружной скоростью.
		МГ4	10 – 22	1,3 не более	0,20	24	25	30	Контактные кольца одноякорных преобразователей, асинхронных двигателей и синхронных генераторов, машины постоянного тока напряжением до 40В.
		МГИ	13 – 25	4 – 40	0,30	25	70	20	Электродвигатели исполнительных механизмов автомобильного транспорта.
		МГИ1	15 – 30	2,5 не более	0,30	30	70	15	Электродвигатели исполнительных механизмов автомобильного транспорта.
		МГИ2	15 – 30	1,5 не более	0,30	30	55	10	Электродвигатели низковольтные постоянного тока, тахогенераторы.
		МГИ3	16 – 32	0,5 не более	0,30	30	55	10	Электродвигатели низковольтные постоянного тока.
		611ОМ	6 – 12	8 – 28	0,30	15	30	90	Электрические машины с контактными кольцами, электрические машины низковольтные коллекторные с облегченными условиями коммутации.
		МГС5	6 – 20	2 – 15	0,22	45	40	16	Генераторы, преобразователи, токосъемники, электродвигатели и стартеры авиационной техники, стартеры автотракторного транспорта.
		МГС51	6 – 20	2 – 13	0,22	80	70	16	Стартеры автотракторного транспорта.
		МГС7	10 – 33	1,5 – 20	0,30	30	60	55	Генераторы, преобразователи, токосъемники, электродвигатели авиационной техники.
		МГС8	10 – 32	4 – 15	0,20	28	60	55	Электродвигатели и преобразователи авиационной техники.
		МГМ1	13 – 43	0,4 – 24	0,32	25	100	20	Электродвигатели исполнительные изделий космической техники.
		МГМ2	5 – 15	0,3 не более	0,30	30	50	10	Микромашины постоянного тока.
		МГТ2	5 – 15	0,4 не более	0,30	30	70	10	Электродвигатели низковольтные миниатюрные постоянного тока.

Класс щеток	Подкласс	Марка	Твердость	Удельное электрическое сопротивление $мкОм/м$	Коэфф. трения	Плотность тока $А/см^2$ не более	Номинальное давление на щетку кПа	Линейная скорость $м/с$	Преимущественная область применения
Металлографитные	Меднографитные	МГСО	5 – 20	0,3 не более	0,25	30	25	30	Электрические машины низковольтные и стартеры автотракторные, контактные элементы, работающие в среде жидкого диэлектрика, токосъемники авиационной техники, стартеры авиационные.
		МГСО1	6 – 20	0,8 не более	0,25	80	25	16	Стартеры автотракторные с торцевыми коллекторами.
		МГС21Н	6 – 20	0,5 не более	0,25	16	50	16	Токосъемные заземляющие устройства тяговых двигателей подвижного состава.
		МГС20	6 – 25	0,4 не более	0,25	120 при краткой нагрузке	25	15	Стартеры автомобилей и тракторов.
		МГ4С	6 – 25	0,4 – 0,3	0,20	120	25	15	Стартеры автотракторные.
		М1	8 – 24	2 – 8	0,25	25	20	33	Контактные кольца синхронных генераторов, одноякорных преобразователей и асинхронных двигателей, зарядные генераторы напряжением 20 – 60В, генераторы переменного тока автотракторного оборудования.
		ВТ1	15 – 35	1,5 – 15	0,25	30	70	35	Электрические машины бортового электрооборудования авиационной и ракетно – космической техники.
	Серебрографитные	961	10 – 25	4 – 30	0,20	15	35	26	Электродвигатели вспомогательных механизмов автомобилей и тракторов, комбайнов
		СГ1	4 – 13	12 не более	0,32	30	70	10	Тахогенераторы, сельсины систем автоматики
		СГ3	6 – 20	12 не более	0,32	30	70	10	Электрические токосъемники низковольтных электродвигателей
		СГ1М	4 – 13	1,2	0,32	30	70	10	Электродвигатели низковольтные исполнительные систем управления изделий ракетно – космической техники.
		СГО1	7 – 31	1,2 не более	0,30	30	70	10	Электрические машины малой мощности систем автоматики ракетно – космической техники

Класс щеток	Подкласс	Марка	Твердость	Удельное электрическое сопротивление *мкОм/м*	Коэфф. трения	Плотность тока $А/см^2$ не более	Номинальное давление на щетку *кПа*	Линейная скорость *м/с*	Преимущественная область применения
Металлографитные	Серебрографитные	СГО2	5 – 22	0,2 не более	0,35	30	70	10	Электродвигатели с повышенной стабильностью частоты вращения автоматических устройств и точных электроприводов.
		СГИ1	6 – 22	2,5 – 3,2	0,30	30	70	10	Электродвигатели низковольтные с повышенной стабильностью частоты вращения систем автоматики.
		СГИ2	9 – 31	0,3 – 0,5	0,30	30	50	10	Микродвигатели низковольтные систем управления.
		СГИ3	6 – 28	0,5 не более	0,30	20	70	10	Микродвигатели низковольтные систем управления.
		СГН88	4 – 24	0,1 – 0,18	0,32	30	60	10	Тахогенераторы, микродвигатели низковольтные постоянного тока.
		СГМ1	4 – 13	10 – 12	0,30	20	50	10	Электродвигатели систем управления космической техники.
		СГМ2	5 – 22	0,4 не более	0,30	35	50	10	Электродвигатели систем управления космической техники.
Электрографитные		ЭГ4	2 – 6	6 – 16	0,25	12	20	60	Электрические машины постоянного тока с резко выраженной неравномерностью нагрузки, гребные двигатели, электропривод вентиляторов машины универсального назначения, контактные кольца цепей возбуждения турбогенераторов мощностью менее 200МВт и одноякорных преобразователей, электрические машины постоянного тока небольшой мощности для контактных колец синхронных и асинхронных двигателей с фазным ротором.
		ЭГ141	10 – 30	20 – 60	0,30	17	30	50	Тяговые и вспомогательные электрические машины железнодорожного и городского транспорта, а так же электрические машины общего промышленного назначения.
		ЭГ2АФ	6 – 22	10 – 32	0,23	15	20	90	Контактные кольца турбогенераторов и синхронных компенсаторов.
		ЭГ61А	20 – 65	36 – 72	0,15	17	40	60	Электрические двигатели напряжением до 500В для подвижного состава современных магистральных тепловозов.

Класс щеток	Подкласс	Марка	Твердость	Удельное электрическое сопротивление *мкОм/м*	Коэфф. трения	Плотность тока $A/см^2$ не более	Номинальное давление на щетку *кПа*	Линейная скорость *м/с*	Преимущественная область применения
Электрографитные		ЭГ8	8 – 34	36 – 50	0,25	10 – 11	50	45	Электрические двигатели универсальные малогабаритные с большим числом оборотов и электромашинные усилители, машины постоянного тока с большой токовой нагрузкой, генераторы и двигатели с затрудненными условиями коммутации, морские электрические машины, в том числе кратковременного действия.
		ЭГ14	8 – 30	20 – 38	0,25	12	40	45	Электропривод различного назначения, в том числе мощные двигатели и генераторы с резко выраженной неравномерностью нагрузок, гребные двигатели, сварочные и тяговые генераторы, крановые двигатели постоянного тока, электрические машины постоянного тока для черной и цветной металлургии и для контактных колец.
		ЭГ74	15 – 55	35 – 75	0,22	20	40	50	Электрические машины постоянного тока с наиболее тяжелыми условиями коммутации и резко выраженной неравномерностью прикладываемых нагрузок, мощные тяговые двигатели некоторых типов современных локомотивов.
		ЭГ2А	8 – 21	11 – 27	0,23	12	25	50	Вспомогательные электрические машины подвижного состава железных дорог, тепловозов, промышленного транспорта, генераторы и двигатели с резко выраженным неравномерным нагревом.
		ЭГ75	15 – 75	35 – 65	0,17	15	40	50	Электрические тяговые двигатели высоковольтные, вспомогательные машины современных магистральных электровозов, тяговые электрические машины с тяжелыми условиями коммутации и с повышенными температурами нагрева.
		ЭГ61А	20 – 65	36 – 72	0,15	17	40	60	Электрические двигатели напряжением до 500В для подвижного состава современных магистральных тепловозов.
		ЭГ841	15 – 75	40 – 80	0,16	17	40	55	Тяговые и вспомогательные двигатели городского транспорта, тяговые двигатели мощных самосвалов с электроприводом.

Класс щеток	Подкласс	Марка	Твердость	Удельное электрическое сопротивление *мкОм/м*	Коэфф. трения	Плотность тока $A/см^2$ не более	Номинальное давление на щетку *кПа*	Линейная скорость *м/с*	Преимущественная область применения
Электрографитные		ВТ5	20 – 50	35 – 65	0,22	30	60	50	Преобразователи, электродвигатели авиационной техники.
		ВТ10	20 – 50	25 – 45	0,20	30	50	45	Преобразователи авиационной техники.
		73	20 – 55	25 – 65	0,20	12	25	90	Генераторы большой мощности с затрудненной коммутацией, имеющие кремнийорганическую изоляцию
Графитные, связанные смолой		Г3	7 – 19	8 – 20	0,30	12	25	60	Электрические машины постоянного тока напряжением до 220В, генераторы с большой силой тока, сварочные генераторы, кольца возбуждения синхронных генераторов, контактные кольца асинхронных двигателей и одноякорных преобразователей.
		Г4	4 – 15	10 – 25	0,30	5	40	30	Двигатели прокатных станов, двигатели бытовых приборов
		611А	3 – 8	10 – 22	031	12	35	15	Контактные кольца электрических машин специального назначения
		Г20	12 – 22	55 – 120	0,17	15	50	40	Электрические машины постоянного тока и коллекторные машины переменного тока с низкими значениями трансформаторной ЭДС, двигатели однофазные и многофазные коллекторные для текстильной промышленности.
		Г22	17 – 55	100 – 230	0,25	10	40	30	Электродвигатели маломощные постоянного тока и многофазные коллекторные двигатели параллельного возбуждения, двигатели Шраге – Рихтера, двигатели постоянного тока малой мощности с затрудненными условиями коммутации.
		Г27	8 – 33	18 – 40	0,27	30	50	60	Генераторы и электродвигатели авиационной техники с напряженными условиями эксплуатации по температуре и разряжению внешней среды.
		Г24	8 – 33	17 – 35	0,30	30	45	60	Токосъемники. Электродвигатели авиационной техники.

Класс щеток	Подкласс	Марка	Твердость	Удельное электрическое сопротивление *мкОм/м*	Коэфф. трения	Плотность тока $A/см^2$ не более	Номинальное давление на щетку *кПа*	Линейная скорость *м/с*	Преимущественная область применения
		Г24 – 1	8 – 33	18 – 40	0,27	25	55	65	Электродвигатели, эксплуатируемые в условиях резких колебаний внешней среды по температуре и влажности.
Графитные, связанные смолой		Г23	8 – 25	0,2 – 1,5	0,20	15	50	10	Электродвигатели низковольтные малогабаритные постоянного тока.
		Г23М1	8 – 25	1 – 2	0,20	20	50	10	Электродвигатели низковольтные исполнительные малой мощности.
		Г21Д	15 – 39	160 – 610	0,32	25	70	6	Электродвигатели бортового электрооборудования ракетно – космической техники
		Г26	9 – 25	70 – 170	0,26	10	20	35	Электродвигатели коллекторные переменного тока для текстильной промышленности, двигатели Шраге – Рихтера с низким значением трансформаторной ЭДС.
		Г30	7 – 24	150 – 310	0,25	10	20	35	Электродвигатели Шраге – Рихтера со средним значением трансформаторной ЭДС, электрические машины бытовой техники.
		Г31	6 – 20	400 – 800	0,30	10	40	40	Электрические машины переменного тока бытовой техники, воздуховсасывающие агрегаты мощностью до 1500 Вт.
		Г32	8 – 35	12 – 55	0,30	20	60	30	Электрические микромашины низковольтные с повышенным сроком службы.
		Г33И	20 – 70	300 – 1000	0,45	10	40	35	Электродвигатели универсальные коллекторные, используемые в электроинструментах и бытовых приборах.
		Г33МИ	25 – 71	600 – 1900	0,40	10	40	35	Электродвигатели универсальные коллекторные, используемые в электроинструментах и бытовых приборах.
		Г41М	10 – 30	50 не менее	0,23	10	40	30	Электрические машины коллекторные, переменного тока, применяемые в бытовой технике, мощностью до 600Вт.
		Г42	14 – 35	80 не менее	0,21	10	40	45	Электрические машины коллекторные, переменного тока, применяемые в бытовой технике и электроинструментах.

Технические характеристики электрощеточных материалов, Темкин И. В. "Производство электроугольных изделий" 1975 г.											
Виды щеток	Марка щеток	Плотность тока, *А/см*^{2}	Максимальная окружная скорость, *м/с*	Удельное давление на щетку, *г/см*^{2}	Удельное электрическое сопротивление, *Ом×мм*^{2}*/м*	Предел прочности при сжатии, *кг/см*^{2}	Модуль упругости, *кг*/см^2	Плотность, *г/см*^{3}	Коллекторные характеристики при V = 15 *м/сек* и $I = I_{ном}$		
									Переходное падение напряжение на пару щеток, *В.*	Износ, *мм.* за 50 часов	Коэффициент трения
Угольно – графитные	Т2	6	10	200 – 250	50	496	–	1,62	1,9	0,07	0,30
	Г3	11	25	200 – 250	16	253	1100	1,65	1,8	0,06	0,17
	Г20	10	25	200 – 300	67,5	–	–	–	3,3	–	0,17
Графитированные	ЭГ2А	10	45	200 – 400	20	483	790	1,68	2,5	0,03	0,17
	ЭГ4	12	40	150 – 200	12	211	850	1,70	2,2	0,05	0,25
	ЭГ8	10	40	200 – 400	39	610	680	1,64	2,6	0,05	0,15
	ЭГ13	11	40	–	33	–	–	1,73	2,7	0,04	0,17
	ЭГ13П	11	40	200 – 400	33	–	–	–	2,4	–	0,17
	ЭГ14	11	40	200 – 400	33	498	610	1,70	2,6	0,01	0,17
	ЭГ61	13	60	300 – 500	27	–	520	1,67	2,4	–	0,17
	ЭГ74	12	50	200 – 250	59	502	–	1,69	2,4	0,07	0,17
Металло-графитные	611М	12	40	200 – 250	12	334	1200	1,90	1,8	0,06	0,15
	М1	15	25	150 – 200	3,0	334	1450	3,10	1,4	0,07	0,17
	М3	12	20	150 – 200	7,6	339	1300	2,20	1,6	0,06	0,15
	М6	15	25	150 – 200	2,8	352	1600	3,00	1,3	0,20	0,15
	М20	12	20	150 – 200	6,5	336	1300	2,20	1,6	0,07	0,16
	МГ	20	20	180 – 230	0,07	–	3100	5,60	0,2	0,51	0,16
	МГ2	20	20	180 – 230	0,14	–	2000	5,00	0,4	0,24	0,17
	МГ4	15	20	200 – 250	0,90	487	1800	4,20	0,9	0,16	0,15
	МГ6	18	20	200 – 250	0,63	388	2200	4,30	0,7	0,43	0,16
	МГ64	20	25	150 – 200	0,08	944	2020	5,72	0,36	0,22	0,16
	МГСО	20	20	150 – 200	–	–	–	6,30	0,17	0,38	0,14
	МГСА	20	20	175	0,25	–	–	–	0,4	0,80	0,25
	МГС5	15	33	200 – 250	3,60	306	1250	3,20	1,3	0,18	0,15

Зарубежные угольные щётки для промышленного и железнодорожного транспорта.

Когда говорят о неисправностях или проблемах при эксплуатации угольных щёток надо отдавать себе отчет в том, что не каждое отклонение от идеального состояния является следствием неисправности. Необходимо различать симптомы представляющие опасность для машины и режима эксплуатации (например, искрение щёток) или требующие техобслуживания (сильный неравномерный износ щеток), и проблемы, которые в той или иной степени являются дефектами внешнего вида (например, неравномерная патина). Такие "дефекты" не стоит переоценивать, если механизм работает безупречно.
Если угольные щётки в эксплуатации демонстрируют неудовлетворительные результаты необходимо помнить, что сами щётки не всегда являются причиной этих проблем. Зачастую не легко выявить причину, поскольку множество факторов могут привести к появлению неисправностей. Ниже перечислены наиболее часто встречающиеся неисправности и названы их возможные причины. Способы устранения исходят из причин повреждения, когда, например должно быть изменено неверное давление на щетку, или необходимо исправить не круглое сечение коммутатора. В таких случаях способы устранения неисправности не будут описываться детально. Указания дополнены фотографиями (рисунками) типичными для щёток и коллекторов. Мы хотим, чтобы пользователи продукции обсуждали проблемы использования угольных щеток на одном языке. Это уменьшит вероятность не понимания и облегчит оценку каждого конкретного случая неисправности.

Искрение щёток.

Искрение возникает только в случае повреждения щётки и/или коллектора. Слабые искры в коллекторных машинах практически всегда безобидны и допустимы при длительной эксплуатации. Появление красных искровых разрядов означает коррозию угольного материала. На кромке коллекторных пластин может появиться патина. При искрении и брызгах необходимо быстрое устранение неисправности, появление зеленых потрескивающих электрических дуг требует немедленного вмешательства. Чтобы иметь масштаб для сравнения мы разработали оценочную шкалу до 5.5, где каждому числу соответствует степень искрения (см. стр. 22). Возможные причины неисправности при сильном искрении щётки:

- коммутатор или контактное кольцо имеют не круглое сечение, изоляция пластин недостаточно глубокая или выступает
- сильная вибрация
- не достаточное давление на щётку, неправильно выбраны щётки, угольные щётки не правильно пришлифованы
- люфт щётки в держателе слишком большой, неравномерное распределение тока, отдельные угольные щетки перегружены
- расстояние между болтами (держателями) не соответствует норме
- давление на щетку слишком большое или маленькое
- повреждение в обмотке якоря
- не верная позиция щеточной траверсы
- не правильно установлено коммутирующее поле
- механизм перегружен
- коммутатор или контактное кольцо загрязнено
- нарушено соединение между пластинами коллектора и обмоткой

Неисправности при эксплуатации. Сильный и неравномерный износ угольных щёток.

Как уже было отмечено выше, определить какая степень износа является нормальной, а какая слишком сильной (сокращение длины щетки в единицу времени, правильнее сказать скорость износа) без точного определения условий эксплуатации очень трудно.
Пользователи угольных щёток хотят чтобы износ был минимальным, поскольку таким образом увеличиваются интервалы технического осмотра, уменьшаются степень загрязнения и затраты на содержание механизмов. Слишком слабый износ может при длительной эксплуатации вызвать затруднения, поскольку вследствие слабого истирания поверхность угольной щетки становится гладкой и плотной, что может привести к аэродинамическому эффекту при высокой окружной скорости и в результате к повреждению контакта. При низких окружных скоростях и гладкой поверхности скольжения, в неблагоприятной ситуации, соскальзывание может произойти вблизи сцепления, что приведет к вибрации угольных щёток. Для надёжной передачи тока требуется минимальное количество контактных площадок, которые вследствие скольжения неизбежно изнашиваются. Степень износа зависит от условий эксплуатации, режима окружающей среды и используемого в угольных щетках материала. Многообразие воздействующих факторов не позволяет надежно просчитать предполагаемый износ в каждом отдельном случае. Степень износа в стационарных механизмах, в зависимости от нагрузки, условий эксплуатации и используемого материала в угольной щетке, как правило, определяется в пределах 2 – 7 *мм*. на 1000 *ч*. При изнашиваемой длине угольной щетки, например 20 мм., такая степень износа предполагает период эксплуатации щётки 2900 – 10000 часов.
В буксировочной (тяговой) отрасли износ рассчитывается обычно в миллиметрах износа на 1000 километров пробега. Степень износа, считающаяся нормальной, лежит, в зависимости от нагрузки, в пределах 0,2 – 0,35 *мм*. на 1000 *км*.
Предъявить претензии к неравномерному износу щёток можно только в случае большой разницы в размерах щеток после длительной эксплуатации. Небольшая разница, например, < 10% длины считается нормальной.

Причины сильного или не равномерного износа щеток могут быть следующие:
- коммутатор или контактное кольцо имеют не круглое сечение
- образование пятен на коммутаторе или контактном кольце
- влияние масла или грязи
- запыленный воздух
- выступающая изоляция пластин коллектора
- вибрация,
- агрессивные газы и пары в воздухе
- низкая влажность воздуха
- плохая коммутация
- перегрузка механизма
- не равномерное или слишком слабое давление на щётку
- не равномерное распределение тока
- не одинаковые щётки
- не правильно выбранные щётки

Пятна и места обгорания на контактных кольцах и коммутаторах.

Пятна и места обгорания являются, главным образом, следствием механических повреждений при эксплуатации щёток, когда в результате нарушений контакта появляются искры, ведущие к повреждениям коммутатора или поверхности контактного кольца. Вначале появляются неотчетливые пятна которые усиливаются при длительной эксплуатации. Покрытый окалиной материал коммутаторов и контактных колец со временем, при эксплуатации щёток, превращается в так называемые места обгорания. Пятна особого рода образуются на коммутаторах и кольцах выведенных из эксплуатации в случае повышенной влажности воздуха, пара угольная щётка/ротор образует гальванический элемент. Для предотвращения подобного образования пятен, в случае необходимости необходимо положить изолирующие пластинки под угольные щётки.

Ситуации, в которых образуются пятна и места обгорания:

- коммутатор или контактное кольцо не круглого сечения
- изоляция пластинок выступает
- выступающие или слабые пластины коллектора
- дисбаланс якоря
- не достаточное давление на щётки
- вибрация или колебания держателя и угольной щётки
- повреждение обмотки

Образование бороздок.

Существует множество причин, которые приводят к образованию тонких следов, так называемых бороздок на материале коммутатора или контактного кольца при эксплуатации и внешних воздействиях. При неблагоприятных ситуациях эти бороздки углубляясь и расширяясь могут распространиться на всю поверхность угольной щетки. Такие бороздки вначале не представляют опасности для работы машины. Тем не менее, если изнашивается дорогая коллекторная медь необходимо подбирать угольные щётки по качеству, или менять условия эксплуатации и окружающие условия, чтобы предотвратить образование бороздок. При оценке глубины бороздок необходимо иметь в виду, что сильная разница по цвету и контрастности между блестящим медным следом и патинированной зоной часто имеет сходство с бороздками, хотя это, собственно, только бросающиеся в глаза полоски незначительной глубины. Наиболее частые причины для образования бороздок: механические примеси, тончайшие, жёсткие частицы пыли, которые могут быть привнесены охлаждающим воздухом, могут попасть между поверхностями коллектора и угольной щётки и даже зацепиться в угольной щетке. Они могут поцарапать патину и привести в дальнейшем к образованию бороздок на поверхности коллектора. Минеральные частицы в природном графите и углерод – графите ведут, в любом случае, к слабому воздействию на ротор и образованию мелких бороздок. Поскольку сегодня в больших машинах, главным образом, используются электрографитовые угольные щетки, эта причина для бороздкообразования ограничивается единичными случаями.

Малая нагрузка и медные "узелки" на поверхности угольной щётки.

Если машина загружена недостаточно температура ротора остается невысокой. То же самое происходит в случае интенсивного обдува при нормальной нагрузке. В таких случаях патина является плохо проводящей и передача тока осуществляется, главным образом, по перемычкам спёка. Температура в этих маленьких перемычках настолько высока, что металл коллектора или кольца начинает испаряться и тончайшие металлические частицы оседают на поверхности щетки, которые распознаются в экстремальных случаях по так называемым медным "узелкам". Причиной бороздкообразования являются катодные щётки, поскольку для возбуждения ионов меди играет роль направление электрических полей. При нагрузочном сопротивлении переменного тока образование борозд практически не проявляется. Частицы меди попадающие на поверхность щётки царапают патину и приводят к бороздкообразованию. Опасность бороздкообразования увеличивается при использовании угольных щёток со слабо обогащенной углеродом патиной. Особенно быстро появляются бороздки когда угольные щетки при напряжении постоянного тока работают в полярно разделенных дорожках скольжения. Бороздки образуются в таких случаях только под катодными щётками.

Высокая влажность воздуха.

Влажность благоприятствует окислению металла ротора, давая возможность формированию толстых пленок. Эти слои, как и в не достаточно нагретых коллекторах, образуют перемычки (спёки) и ведут к образованию бороздок. Вероятно при высокой влажности электролитические процессы также играют свою роль.

Образование борозд из – за пленок масла и смазки.

Масла, смазочные материалы и другие не проводящие ток субстанции, попадающие на коллектор, образуют изоляционную пленку, сокращающую количество электропроводящих пятен-контактов. На оставшихся участках, вследствие высокой температуры металл коллектора начинает плавиться, создавая эффект подобный тому, что и при образовании перемычек (пригаров). Кроме того, масло и смазочный материал находящиеся на коллекторе, подвергаются крекингу при разогреве, образуя жесткий электродный кокс, способствующий бороздкообразованию.

Образование борозд при газовом обдуве.

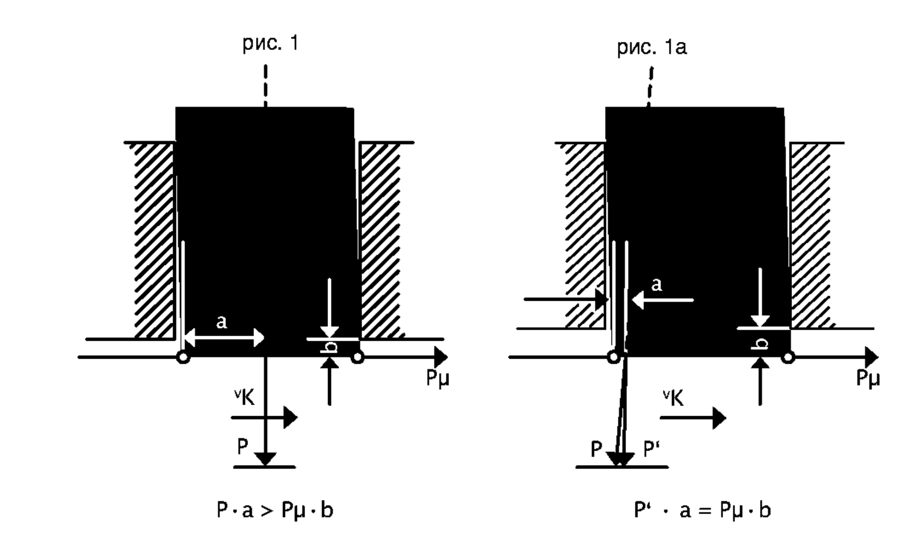
Химически агрессивные газы очень быстро приводят к образованию слоёв плохо проводящих ток на поверхности коллектора. Слои или тонкая пленка разрушаются благодаря интенсивному пригоранию, приводя к бороздкообразованию. В таких случаях имеет смысл использовать в угольных щётках материалы, образующие плотную графитовую патину.

Колебания и вибрация щёток.

В зависимости от интенсивности колебания щеток могут относительно быстро привести к разрушению токоподводящих щеточных проводов и образованию "башмака" в основании щётки, а вибрация – к изломам и отслоениям, особенно на поверхности скольжения. Колебания щёток и особенно вибрация приводят к нарушению контакта между угольной щеткой и коллектором. Если коммутатор и контактное кольцо безупречно круглые, а щётки вибрируют (отклонения от круглой формы, выступающее уплотнение и т. д. приводят естественно к вибрации), то, в основном причиной вибрации является высокий коэффициент трения. Очень гладкая, полированная патина, образование которой стимулируется длительной эксплуатацией при небольших нагрузках или холостом ходе, приводит к тому, что скольжение угольных щёток происходит вблизи сцепления. В других системах происходит так называемый эффект "обратного скольжения". Угольные щётки, при соответственно высоком трении "разбалтываются", приводя к вибрации. Вибрация щёток уменьшается если палец держателя давит на щётку таким образом, что направление усилия нажима действует в области набегающего края. В этом случае, особенно важно при неустойчивой силе трения, противодействующий момент на угольной щётке стабилизирующий и компенсирующий силу трения, будет очень маленький (см. рис. 1 и 1а).
Слишком большое расстояние между держателями нежелательно поскольку тогда вращающий момент вокруг нижней кромки обоймы щёткодержателя, обусловленный трением, будет большим. Угольные щётки в позиции отдачи могут слегка вибрировать, как в позиции буксировки. Увеличение усилия нажима не устраняет вибрацию поскольку одновременно увеличивается сила трения. Прохождение тока напротив придает патине микрошероховатость образуя истирающие частички уменьшающие трение (так называемое "смазывание" током). Аналогичным образом уменьшается вибрация оснастки, если коллектор слегка полирован. Необходимо еще раз подчеркнуть, что при обработке коммутаторов и колец не должны создаваться слишком гладкие поверхности. Небольшие количества парафина, нанесенного полотняной тряпкой на коммутатор или кольцо, уменьшают трение в любом случае. Это мероприятие не всегда даёт долговременный эффект, поскольку парафин, особенно при высоких температурах, быстро испаряется.
Если условия эксплуатации таковы, что есть опасность появления вибрации, необходимо с самого начала принимая во внимание все необходимые требования к угольным щёткам выбрать щетки устойчивые к холостому ходу. Если же условия эксплуатации таковы, что, несмотря на правильно выбранный материал не возможно избежать вибрации щеток, можно время от времени, слегка стачивать патину.

Причины возникновения колебаний и вибрации щёток:

- слишком гладкие коллекторы
- не догруженные угольные щётки
- тонкая пыль в обдуве
- большое расстояние между держателями
- зазор в обойме щёткодержателя слишком большой
- поперечный держатель стоит в позиции противодействия
- палец щеткодержателя изогнут
- коммутатор не круглого сечения
- не достаточная влажность воздуха
- изоляция коммутатора выступает
- материал щётки не подходящий



Поверхности скольжения угольных щеток, электрические причины дефектов.					
1	Дуговые крапинки на набегающем и сбегающем краях.	5	Кометы.	9	Полоски обжига коммутационного пламени на сбегающем крае.
2	Диффузные пятна в середине поверхности скольжения.	6	Сильное обгорание на набегающем и сбегающем краях.	10	Коррозия на набегающем и сбегающем краях.
3	Обгоревшая и растрескавшаяся поверхность скольжения.	7	Обгорания, точки обжига на набегающем и сбегающем краях.	11	Коллекторное деление.
4	Переход между блестящими и гладкими и матовыми полосками.	8	Каверны.	12	Полоски с четким краем.

Поверхности скольжения угольных щеток, механические причины дефектов.								
1		Безупречная поверхность скольжения.	4		Полосы с бороздками и желобками.	7		Расщепление на набегающем и сбегающем крае.
2		Волосовидные бороздки.	5		Зеркало.	8		Медные "узелки"
3		Тонкие желобки.	6		Множественные зеркала.	9		Размазанные полоски масла с матовым блеском

Возможные повреждения угольных щеток.

"Ветвистость" в результате воздействия пыли	Усечение пылевыми бороздками	Образование башмака	Одновременное разрушение, обусловленное протеканием тока	Вид сбоку.

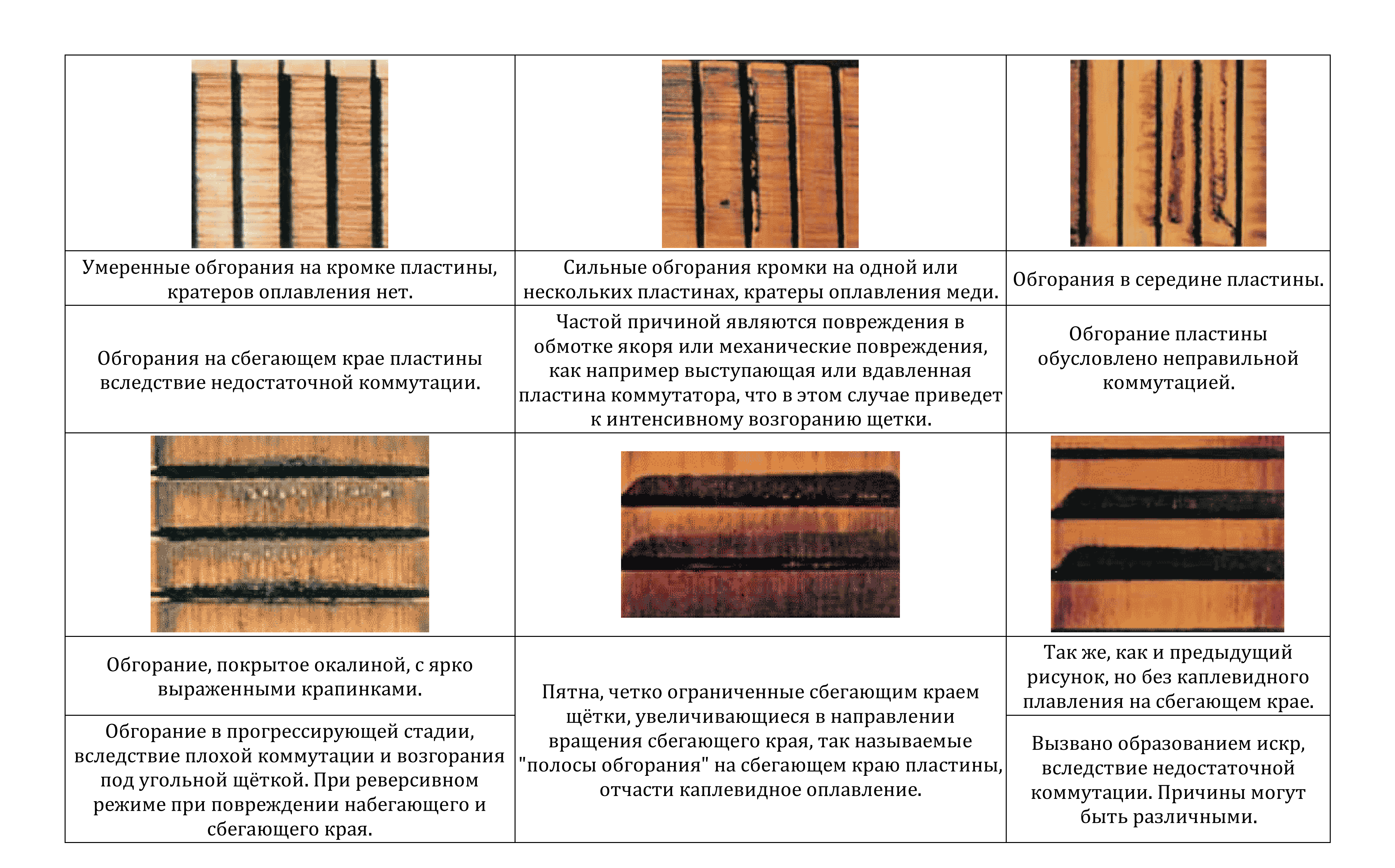
Трещина в результате колебаний	Отслоение со стороны сбегания и скорлуповидное отслоение со стороны набегания.

		Повреждение кабеля угольной щетки					
Выработка от нажимной детали с верхнего торца.	Выработка от нажимной детали с верхнего торца с воздействием тока и искрением.	сплющен	расплетен при вибрации	оторван	срезан	прогорел	корродирован газом

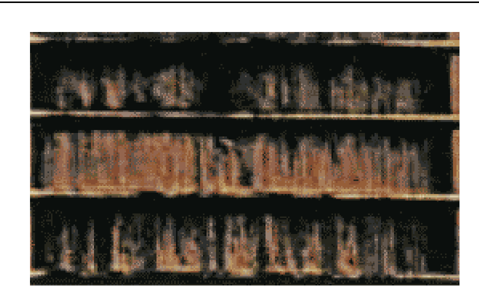
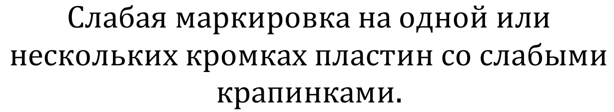
Типичные поверхности скольжения коммутаторов (коллекторов).

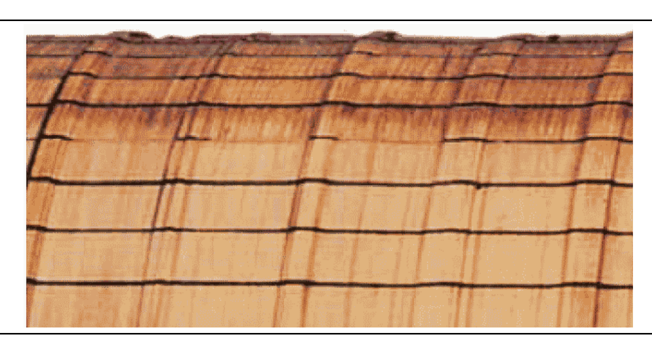
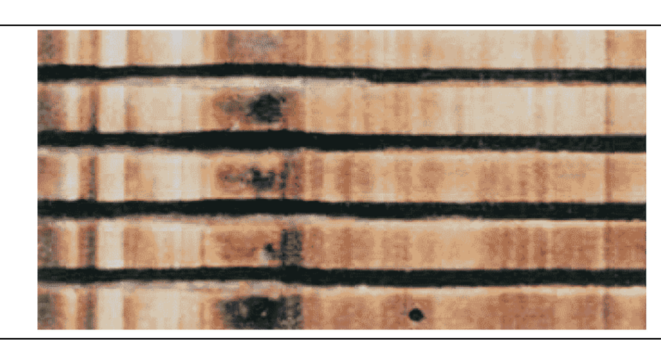
Равномерная светло – коричневая патина	Равномерная коричневая патина	Равномерная темно – коричневая патина
Все три изображения патины являются нормальными. В любом случае коллекторы должны хорошо работать. Различный цвет патины обусловлен, кроме прочего, различными материалами угольных щеток.		
Патина с ярко выраженными полосками	Растрескавшаяся патина со слабым бороздкообразованием	Неравномерная пятнистая патина
Такой рисунок патины зачастую отражает резкую смену напряжения. При отсутствии внешних негативных воздействий, такое состояние может оставаться стабильным.	Плохая циркуляция воздуха, пары масла, пыль, агрессивные газы и т. д. могут привести патину в такое состояние (см. все три рис.). Устраняется улучшением условий эксплуатации или с помощью использования углеродного патинообразующего материала угольной щетки.	Причиной может быть коллектор не круглого сечения, вибрация трения из – за слишком гладкого, полированного коллектора, вибрация машины.

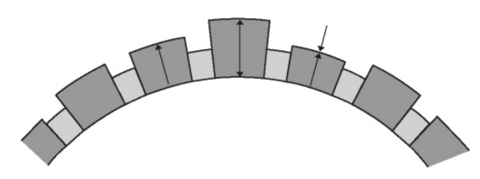
Единичные, равномерно и не равномерно распределенные темные пятна.	Пятнистые пластинки с мелкими крапинками.	Смазанные пятна и обгорания в середине пластины, кратеры плавления на кромке пластины.
Причина: механические повреждения коммутатора.	Встречаются на слишком гладких коммутаторах с высокоомным материалом щетки с небольшим содержанием графита. Из "крапинок" и нарушений контакта могут в дальнейшем могут образоваться пятна.	Встречается при плохой коммутации или при неправильной обработке коммутатора. Причиной могло послужить недостаточное давление на щётку, вибрация или неверный выбор материала щетки.
Смазанные затенения, усиливающиеся по направлению к кромке пластины	Равномерно сменяющиеся светлые и темные пластины, так называемая "зебровидная" полосатость	Пятнообразование в сдвоенном полюсном шаге
Если выражены на каждой пластине, могут являться следствием плохой коммутации. При неравномерном распределении причиной может являться нарушение контакта в результате неправильной формы коммутатора.	Причина появления в неправильной обмотке. Главным образом при двухходовой петлевой обмотке. Предотвращение или ослабление возможно с помощью хороших контактных материалов угольной щётки.	Причиной пятнообразования в сдвоенном полюсном шаге лежит в дефекте так называемого эквипотенциальных соединений (уравнителей) в обмотке якоря и дефектах в местах спайки между обмоткой и коммутатором. В результате длительного простоя может также образоваться такая картина.

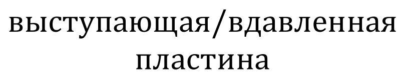


Умеренные обгорания на кромке пластины, кратеров оплавления нет.	Сильные обгорания кромки на одной или нескольких пластинах, кратеры оплавления меди.	Обгорания в середине пластины.
Обгорания на сбегающем крае пластины вследствие недостаточной коммутации.	Частой причиной являются повреждения в обмотке якоря или механические повреждения, как например выступающая или вдавленная пластина коммутатора, что в этом случае приведет к интенсивному возгоранию щетки.	Обгорание пластины обусловлено неправильной коммутацией.
Обгорание, покрытое окалиной, с ярко выраженными крапинками.	Пятна, четко ограниченные сбегающим краем щётки, увеличивающиеся в направлении вращения сбегающего края, так называемые "полосы обгорания" на сбегающем краю пластины, отчасти каплевидное оплавление.	Так же, как и предыдущий рисунок, но без каплевидного плавления на сбегающем крае.
Обгорание в прогрессирующей стадии, вследствие плохой коммутации и возгорания под угольной щёткой. При реверсивном режиме при повреждении набегающего и сбегающего края.		Вызвано образованием искр, вследствие недостаточной коммутации. Причины могут быть различными.

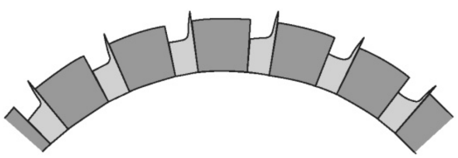
		
 Слабая маркировка на одной или нескольких кромках пластин со слабыми крапинками.	Резкое воспламенение пластины с покрытой окалиной поверхностью.	Легкие обгорания на сбегающей кромке пластины при относительно сохранной поверхности коммутатора.
Зачастую это признак механического повреждения коммутатора в этом месте (опрокидывания щетки, изменения силы трения, трещины пластины), которое еще не привело к возгоранию щетки.	Происходит при вибрации и слабом давлении на щётку. Причиной может быть радиальное биение коммутатора.	Коммутация на границе. Вероятно, для щетки необходим материал с лучшими коммутирующими свойствами.

	
Сильное разрушение коллектора с образованием полос и неровностей	Разрушение коллектора, связанное с появлением бороздок и пригара
Продолжительная эксплуатация с недогрузкой при холодном коммутаторе. Часто встречается при использовании металлосодержащих угольных щеток.	Полоски пригара из – за несовершенного контакта (низкое давление на щётку) и загрязнения.

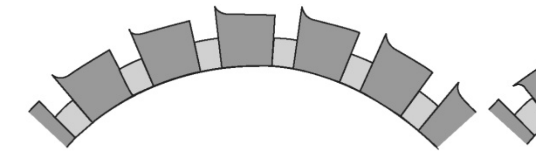




выступающая/вдавленная пластина



выступающая изоляция пластины



Заусенцы на кромке пластины

Сплющивание меди

Идентификация искрообразования. (не ГОСТ)

1	без искрообразования		3.5	интенсивное искрение с многочисленными струйками пламени	
1.5	слабые, прерывистые искры		4	сильное струящееся пламя	
2	слабые, постоянные искры		4.5	сильное струящееся пламя с отдельными зелеными искрами	
2.5	сильные искры, отчасти красные		5	единичные блуждающие точки расплава	
3	интенсивные искры с единичными струйками пламени		5.5	многочисленные точки расплава	

Некоторые данные зарубежных щеток производства компании Schunk.

Марка материала	Удельное сопротивление *μОм/см.*	Плотность тока *А/см²*	Падение напряжения на пару щеток, *В*	Кажущаяся плотность *г/см³*	Твердость по Шору	Прочность на изгиб *МПа*	Коэффициент трения	Скорость скольжения *м/сек.*	Комментарий
CB310	7100	12.5	> 3,0	1,45	40	14	Низкий	40	Марка с главным коммутационным показателем. Успешно используется для моторов и возбудителей Westinghouse.
CB335	7100	12,5	> 3,0	1,53	55	25	Низкий	45	Марка со специальной обработкой, дающей отличные коммутационные свойства, используется для подъемников и ковшовых моторов Westinghouse
CB336	7100	12,5	> 3,0	1,55	55	25	Низкий	45	Марка с прекрасными коммутационными свойствами для двигателей и генераторов с большой нагрузкой, со специальной обработкой для работы при низкой влажности.
CB340	2750	10,0	2,2 – 3,0	1,70	55	32	Очень низкий	30	Марка с низким трением, высокой способностью образования патины, средней коммутационной способностью, хорошо подходит для возбудителей General Electric.
CB348	5600	12,5	> 3,0	1,59	65	28	Низкий	45	Марка со специальной обработкой для работы при высокой влажности, в основном подходит для генераторов.
CB349	5600	14,0	> 3,0	1,58	58	26	Низкий	45	Марка хорошо подходит для экскаваторных моторов, имеет хорошее образование патины при низкой влажности.
CB350	7100	12,5	> 3,0	1,52	50	22	Низкий	45	Марка с превосходной коммутационной способностью для высоковольтных машин, двигателей и генераторов, где нет проблем с влажностью.
CB361	5900	12,5	>3,0	1,72	75	40	Очень низкий	45	Специально марка, с очень низким трением для очень длительного срока службы.

Марка материала	Удельное сопротивление *μОм/см.*	Плотность тока *А/см²*	Падение напряжения на пару щеток, *В*	Кажущаяся плотность *г/см³*	Твердость по Шору	Прочность на изгиб *МПа*	Коэффициент трения	Скорость скольжения *м/сек.*	Комментарий
CB362	5900	12,5	> 3,0	1,73	75	40	Очень низкий	45	Специально обработанная марка, с низким трением, для высокой влажности.
CB386	5600	12,5	> 3,0	1,58	65	28	Низкий	45	Марка с длительным износом и добавками для образования патины, успешно используется для двигателей и генераторов
CB397	5800	12,5	> 3,0	1,64	62	30	Низкий	45	Марка, успешно используемая для экскаваторных генераторов, щетки с длительным износом для высокой влажности.
AC137X	5400	12,5	> 3,0	1,75	85	44	Низкий	50	Очень прочная марка, используемая для всех видов тяговых двигателей
AC155	5100	12,5	> 3,0	1,7	62	34	Низкий	50	Великолепные рабочие характеристики и длительный срок службы щеток для тяговых двигателей, работающих при высокой температуре и низкой влажности.
AC161	5100	12,5	> 3,0	1,69	65	38	Низкий	45	Хорошо подходит для всех типов тяговых двигателей, отлично поддерживает коммутацию, патину и имеет длительный срок службы.
535	6900	12,5	> 3,0	1,53	55	25	Низкий	45	Специально обработанная марка, с увеличенным сроком службы, для крупных машин постоянного тока, работающих с большой нагрузкой.
2189	5900	12,5	> 3,0	1,63	65	25	Низкий	45	Успешно применяется для двигателей и генераторов, марка с длительным износом и стабильной патиной.

Марка материала	Удельное сопротивление *μОм/см.*	Плотность тока $А/см^2$	Падение напряжения на пару щеток, *В*	Кажущаяся плотность $г/см^3$	Твердость по Шору	Прочность на изгиб *МПа*	Коэффициент трения	Скорость скольжения *м/сек.*	Комментарий
2192	5100	14,0	3,0	1,56	55	26	Низкий	50	Универсальная марка, используемая на больших и средних двигателях с очень большими пиковыми нагрузками.
2217	5100	12,5	> 3,0	1,67	57	27	Низкий	50	Применяются для двигателей и генераторов, с длительным износом и стабильной патиной.
EG300H/T	4000	12,5	2,2 – 3,0	1,58	60	28	Низкий	50	Используется на двигателях шахтных подъемных машин со средними и большими нагрузками.
EG309T	4200	12,5	2,2 – 3,0	1,54	55	26	Низкий	50	Используется в двигателях шахтных подъемных машин со средними и большими нагрузками.
EG7097	3900	12,0	2,2 – 3,0	1,68	80	37	Низкий	45	Специально обработанная марка, с отличным образованием патины, для длительного срока службы щеток для двигателей и генераторов.
EG7163	6500	12,5	> 3,0	1,85	70	22	Низкий	45	Специально созданная марка для двигателей и генераторов, работающих в условиях низкой влажности, с хорошей способностью образования патины.
EG8155	4200	12,5	2,2 – 3,0	1,65	67	32,5	Низкий	50	Специально созданная марка для двигателей и генераторов, требующих длительного срока службы щеток, с добавками для образования патины.
D1 – 60	950 – 1100	10		1,55 – 1,56		13		50	
L94MF7	1240	10		1,6		22		50	

Падение напряжения	Символ	Падение напряжения на пару щеток	Коэффициент трения
Очень низкое, very low	*vl*	< 1,5 V	< 0,08
Низкое, low	*l*	1,5 – 2,2 V	0,08 – 0,12
Среднее, medium	*m*	2,2 – 3,0 V	0,15 – 0,22
Высокое, high	*h*	> 3,0 V	> 0,22

Schunk Kohlenstofftechnik

Техническая информация. "Угольные щетки и математика"

Вы знаете, что выбор угольных щеток в соответствии с их физическим свойствам в настоящее время огромен. Подсчет некоторых параметров, которые используются в эксплуатации, тем не менее, возможен. Под провокационным заголовком "Carbon brushes and mathematics" мы хотели бы представить вам некоторые важные формулы которые относятся к использованию щеток во время их работы. Для ясности представляем наиболее важные формулы с определенными примерами.

1. Характеристика плотности тока.

Передача тока соответствует плотности тока отдельной щетки при ее работе и является одним из основных параметров. Каждая группа свойств оптимальна для своей плотности нагрузки и наилучшей работы в каком – то конкретном случае. Недогрузка или перегрузка – главные условия оказывающие негативное действие на износ, формирование патины коммутатора и т. д.
Поэтому важно иметь возможность произвести подсчет плотности тока в зависимости от имеющихся нагрузочных данных. В представленных ниже данных мы не пересматриваем физические данные DC моторов и колец скольжения асинхронных и синхронных моторов. Поэтому, для подсчета плотности тока использованы только следующие основные замечания, которые приведены ниже. Так как ток сначала входит в коммутатор и затем снова выходит, необходимо использовать только половину количества работающих щеток в формуле для подсчета плотности тока в DC моторе. Соответственно, рассматриваются только щетки одного полюса при DC нагрузке, с АС нагрузкой соответственно – одна фаза на щетку.

Коллекторные моторы: пример: 4 полюсный с двумя щетками на каждый полюс, 2 × 2 щеток с положительной полярностью и 2 × 2 щеток с отрицательной полярностью. Подсчет плотности тока происходит только соответственно для 4 щеток.
6 полюсный с пятью щетками на каждый полюс, 3 × 5 щеток с положительной полярностью и 3 × 5 щеток с отрицательной полярностью. Подсчет плотности тока происходит только соответственно для 15 щеток.

Кольца, пример: 3 – фазный мотор, пять щеток на каждую фазу. Подсчет плотности тока происходит только соответственно для 5 щеток. Плотность тока соответственно приходится на контактную площадь под щеткой, выраженный в амперах, приходящихся на один квадратный сантиметр, $A/см^2$

Марка	Минимальная плотность тока $А/см^2$	Оптимальная плотность тока $А/см^2$	Максимальная плотность тока $А/см^2$	Максимальная плотность тока при короткой перегрузке $А/см^2$
Содержащие металл 30 – 75%	12	15 – 20	25	40
Содержащие металл более 75%	15	25 – 30	35	50
Электрографитные	4	10 – 12	16	30
Графитные связанные смолой	1	6 – 8	10	14
Графитные связанные пеком	3	6 – 8	10	12

Количество угольных щеток, если возможно, должно быть подобрано оптимально в соответствии с плотностью тока из имеющихся типов для уменьшения электрических и механических потерь.

2. Окружная скорость.

Окружная скорость DC моторов в основном находится в определенных значениях, в наибольших случаях применения выбор угольных щеток не критичен к этому параметру. Это важно только в некоторых случаях, например в лабораторных моторах, в некоторых случаях в промышленности и автомобилях, где окружная скорость составляет более 60 *м/сек*., или где ограничено пространство конструкции. Для колец окружная скорость имеет решающее значение при выборе щеток из номинальных типов. В основном при скорости более 50 *м/сек*. выбор делается из так называемого "черного" ряда, исходя из соображений электрической нагрузки. Поверхностный аэродинамический эффект имеется при скорости выше 25 *м/сек*.

3. Электрические и механические потери.

Повышение температуры происходит по причине механических и электрических потерь. Эти значения потерь могут быть важны в низковольтных моторах, например при питании от аккумуляторов. Необходимо оптимизировать такие потери для поддержании достаточного тока мотора и сохранять потери минимальными. Эти отношения играют значительную роль, например в ветрогенераторах. Механические потери прямо связаны с давлением на щетку, окружной скоростью, с коэффициентом скольжения. Коэффициент скольжения зависит от давления на щетку. Обычно увеличивается с давлением, при увеличении давления в два раза коэффициент увеличивается не пропорционально, а гораздо более. На примере ветрогенератора, при увеличении давления возрастает нагрев, что является проблемой. Проблема нагрева влияет на выбор щеток с низким коэффициентом трения и низким падением напряжения.

4. S – Фактор.

S – фактор дает информацию о нагреве, который может быть рассеян коммутатором или кольцом. Чем меньше величина S – фактора, тем больше возможен нагрев. S – фактор в большинстве случаев не применяется в машинах с коллектором (с коммутатором).

S – фактор при использовании колец с некоторыми типам щеток		
Тип щеток	обдуваемые	закрытые
Электрографитные	> 1	> 1,2
Металлографитные (40 – 50%)	0,9	1,1
Металлографитные (60 – 70%)	0,5 – 0,8	0,7 – 1
Металлографитные (>85%)	0,4	0,6

5. Особенности для колец скольжения.

Важным фактором для колец скольжения является рассеивающая способность тепла и электрические и механические потери. Понятие занятой площади контакта и S – фактора дополняют друг друга и связаны между собой. Если S – фактор довольно мал, менее 0,4, то далее нет необходимости расчета.

5. 1. Окружное соотношение Fp.

Соотношение поверхности скольжения кольца, занятого щетками
по тангенциальному направлению и к общей окружной поверхности.

Формула		Пример
□ □ □ □ □ □	□ □ □ □ □ □	Количество щеток на кольцо – 6, t – размер щетки 40 *мм.*, диаметр кольца 300 *мм*. Более оптимальным результат будет при размещении щеток в два ряда по 3 щетки в каждом. Возрастает S – фактор и улучшается соотношение окружной площади контакта.
$Fp = \frac{3 \times 40}{\pi \times 300} = 0{,}127 = 12{,}7\%$	$Fp = \frac{6 \times 40}{\pi \times 300} = 0{,}254 = 25{,}4\%$	

5. 2 Общее соотношение *Ft*.

Соотношение поверхности скольжения кольца, занятого щетками и общей окружной поверхности.

□ □ □ □ □ □ □ a □ □ □ □ □ b	Пример
	Количество щеток на кольцо – 6, t – размер щетки 40 *мм*., a – размер щетки 20 *мм*., диаметр кольца 300 *мм*., ширина 100 *мм*. $$Ft = \frac{6 \times 40 \times 20}{\pi \times 300 \times 100} = 4{,}4\%$$

- $Ft < 15\%$ – оптимально.
- Если Ft между 15% и 20% – может возрастать температура.
- Если $Ft > 20\%$ – могут возникнуть проблемы.
- Так же в целом при $Ft > 15\%$.

Формула Плотность тока DC мотора	Пример
$$S = \frac{I}{\frac{N}{2}} \times t \times a$$ где: I – ток ампер, A, N – количество щеток, t – тангенциальный размер, *см*., a – аксиальный размер, *см*.	1000 А – 6 полюсов, по 5 щеток на полюс, всего 30 щеток, подсчет соответственно для 15 щеток. Размер щетки 20×32×50 *мм*. $$\frac{1000}{15} \times 2 \times 3{,}2\ \text{см} = 10{,}4\ \text{А/см}^2$$ 1000 А – 4 полюса, по 5 сдвоенных щеток на полюс, всего 20 щеток, подсчет соответственно для 10 щеток. Размер одной щетки 12,5×32×50 *мм*., т. е. общий t – размер будет 25 *мм*. $$\frac{1000}{15} \times 2{,}5 \times 3{,}2\ \text{см} = 12{,}5\ \text{А/см}^2$$

Формула Плотность тока мотора с кольцами скольжения	Пример
$$S = \frac{I}{N \times t \times a}$$ где: I = ток ампер, A, t – тангенциальный размер, *см* N – количество щеток, a – аксиальный размер, *см*.	Турбогенератор. 1000 А – 2 кольца, по 10 щеток на каждом, подсчет для 10 щеток. Размер щетки 32×32×64 *мм*. $$\frac{1000}{10 \times 3{,}2\ \text{см} \times 3{,}2\ \text{см}} = 9{,}7\ \text{А/см}^2$$ Асинхронный мотор. 500 А – 3 кольца, по 5 щеток на кольцо, подсчет для 5 щеток. Размер одной щетки 40×20×40 *мм*. $$\frac{500}{5 \times 4\ \text{см} \times 2\ \text{см}} = 12{,}5\ \text{А/см}^2$$
Формула Окружная скорость	Пример
$$v = \frac{\pi \times d}{1000} \times \frac{n}{60}$$ где: d – диаметр, *мм*., n – количество оборотов в минуту. π – число *пи*., 3,14159	350 *мм*. диаметр коммутатора (коллектора), кольца. $$\frac{3{,}14 \times 350}{1000} \times \frac{1500}{60} = 27{,}5\ \ \text{м/сек}$$
Формула Механические потери	Пример
$$Vm = \frac{\mu \times N \times t \times a \times \rho}{100 \times v}$$ где: μ – коэффициент трения, N – количество щеток. t – тангенциальный размер, *мм*., a – аксиальный размер, мм., ρ – давление на щетку (Н/см^2), v – окружная скорость, *м/сек*.	Коэффициент трения 0,11, 4 полюса, 3 щетки на полюс (всего 12 щеток), размер одной щетки 16×25×50 *мм*., давление на щетку 1,8 *Н/см*^{2}, диаметр коллектора 350 *мм*., скорость 1500 *об. мин* (27,5 *м. сек*): $$\frac{0{,}11 \times 12 \times 16\ \text{мм.} \times 25\ \text{мм.} \times 180}{100 \times 27{,}5\ \text{м/сек}} \approx 260\ \text{Вт}$$

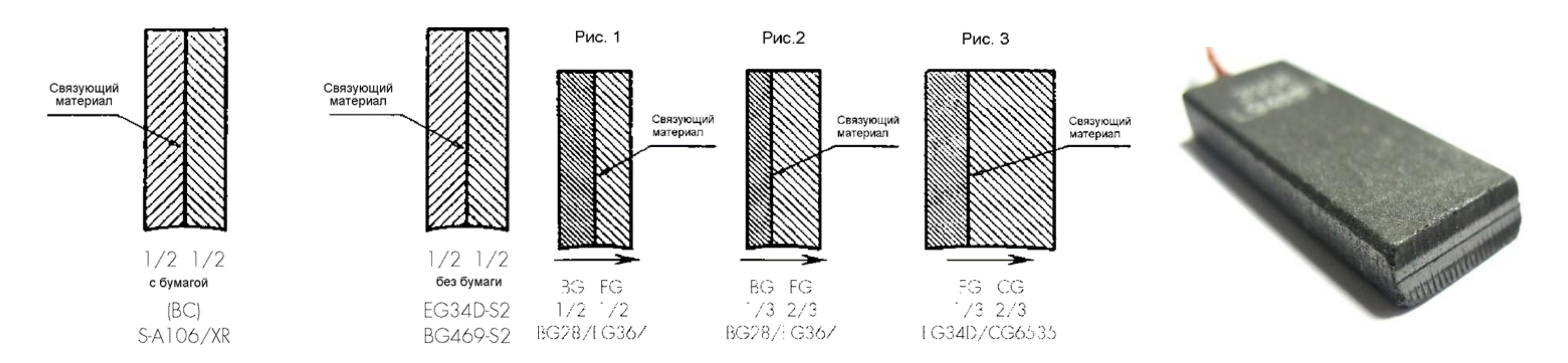
<table>
<tr><td>Формула Электрические потери в щетках DC мотора</td><td colspan="2">Пример</td></tr>
<tr><td>$$Ve = 2 \times I \times Ud$$
где: I – ток, ампер, A, Ud – падение напряжения на одну щетку, B.</td><td colspan="2">Ток 230 A, падение напряжения на щетку 1,25 B.
$$2 \times 230 \times 1{,}25 = 535 \text{ Вт.}$$</td></tr>
<tr><td>Формула Электрические потери в кольцах мотора</td><td colspan="2">Пример</td></tr>
<tr><td>$$Ve = I \times Ud$$
где: I – ток, ампер, A, Ud – падение напряжения на одну щетку, B.</td><td colspan="2">Ток 230 A, падение напряжения на щетку 0,6 B.
$$230 \times 0{,}6 = 138 \text{ Вт.}$$</td></tr>
<tr><td>Формула Общие потери, электрические и механические</td><td colspan="2">Пример</td></tr>
<tr><td>$$Vt = Ve + Vm$$
где: Ve – электрические потери, Vm – механические потери.</td><td colspan="2">Для вышеприведенных примеров соответственно:
$$Vt = 261 \text{ Вт} + 535 \text{ Вт} \approx 800 \text{ Вт.}$$</td></tr>
<tr><td>Формула Подсчет S – фактора</td><td colspan="2">Пример</td></tr>
<tr><td>$$S = \frac{\pi \times D \times W}{I}$$
где: D – диаметр коллектора или кольца, *см.*, W – ширина коллектора или кольца, *см.*, I – ток, А, π – число *пи* 3,14</td><td colspan="2">Диаметр 150 мм., ширина 50 мм., ток 1000 А
$$\frac{3{,}14 \times 15 \times 5}{1000} = 0{,}23$$</td></tr>
<tr><td>Соотношение покрытия Fp.</td><td>□ □ □
□ □ □</td><td>□ □ □ □ □ □</td></tr>
<tr><td rowspan="3">$$Fp = \frac{c \times t}{\pi \times D}$$
где: c – количество щеток в ряду, друг за другом. t – размер щетки (тангенциальный), D – диаметр кольца.</td><td>$C = 3$</td><td>$C = 6$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Диаметр 300 мм., t – размер 40 мм.</td></tr>
<tr><td>$$Fp = \frac{3 \times 40}{3{,}14 \times 300} = 1{,}27\%$$</td><td>$$Fp = \frac{6 \times 40}{3{,}14 \times 300} = 25{,}4\%$$</td></tr>
</table>

Составные щетки.

Термины "сэндвич" и "составные" относятся к щеткам из двух или трех параллельных радиальных слоев, которые часто являются равными по толщине и склеены друг с другом соответствующим материалом. Разница между этими двумя терминами заключается в том, что сэндвич – щетки изготовлены из одинакового материала, в то время как составные щетки состоят из материалов двух различных типов. Два наиболее часто применяемых типа сэндвич – щеток, и три типа композитных щеток, которые являются наиболее известными, показаны на рисунках ниже. Следует отметить, что сэндвич – щетки симметричны относительно их средней плоскости и, следовательно подходят для машин с изменяемым направлением вращения, в то время как составные щетки ассиметричны и поэтому их предпочитают, как правило, для однонаправленных машин. Самая простая щетка, а также наиболее широко используемая – это сэндвич из двух слоев, изготавливается из электрографитированного материала. Эта щетка может быть изготовлена одним из двух способов, в зависимости от того как она используется: с изоляцией из бумаги между двумя слоями, с одинаково высокой поперечной устойчивостью и хорошим коэффициентом скольжения, либо без бумаги, но в этом случае с поперечная устойчивость не столь высока. Такой тип щеток является желательным в тех случаях когда существует опасность высокого падения напряжения и возникновении циркулирующих токов между коллекторными пластинами под щеткой. В самом деле, эти два вида щеток приносят хорошие результаты на AC и DC машинах, где затруднена коммутация и требуется хорошая патина. Например, в случае L94MF7 сэндвич – решение позволяет продлить срок службы щеточного узла в стиральных машинах.

– щетки на рис. 1 и рис. 2 предназначены для работы с коллекторами.
– щетки на рис. 3 предназначены для работы с кольцами скольжения.

– щетки на рис. 1 обычно включают в себя материал типа EG и BG – лучший материал из имеющихся классов. Из – за его исключительных свойств эта щетка используется главным образом на моторах с изменяемым направление вращения, в жестких условиях эксплуатации (высокое в напряжении между пластинами, агрессивная атмосфера и т. п.). Щетку желательно размещать так, что бы BG слой являлся набегающим, а EG слой на стороне сбегания (см. рис.). Так как EG слой не является столь уязвимым для коммутационной искры, как BG слой. Щетка на рисунке 2 является более современной по сравнению на рисунке 1. Такая щетка используется только в конкретном случае, когда эффект EG – слоя должен быть усилен по отношению BG – слою, например, для AC моторов типа Шраге или Schorch, которые обычно перегружены. Щетка на рисунке 3, предназначена для колец скольжения с хорошей коммутационной и с высокой смазывающей способностью. Желательно, чтобы слой EG был набегающим. Следует отметить, что при производстве, составной или сэндвич – щетки, их толщина не может быть менее 6 *мм*., с отдельными слоями толщиной менее 2 *мм*.



Угольные щётки для маломощных электрических машин с автоматическим прерыванием работы.

Угольные щётки некоторых машины, такие, как ручной инструмент, садовые помпы, приборы бытового применения, специальные моторы стиральных машин, мощностью менее 750 ватт, должны иметь возможность замены прежде чем испортится поверхность коллектора от искрения при окончании износа. Такая возможность обеспечивается специальной конструкцией щёток. В своем составе щётка имеет специальное приспособление, обеспечивающее подъём тела щётки над коллектором. Достигая предела изнашивания изолирующий штифт поднимает тело щетки и разрывает электрический контакт между углеродной щеткой и коллектором. Так называемый элемент прерывания состоит из специального штифта находящегося в теле щётки и предварительно сжатой пружины. Основные схемы десяти примеров конструкций такого устройства показаны на следующих рисунках. Конструкции различаются в зависимости от назначения щётки, типа и расположения токоподводящего проводника.

На рисунке 1 показана щётка с проводником тока в виде пружины. На рисунке 2 показана конструкция с размещением изолирующего штифта непосредственно под гибким проводником тока. Такая конструкция применяется только в щётках использующихся в маломощных моторах. На рисунке 3 и 4 показаны конструкции при небольшом размере щётки и высокой плотности тока. На рисунке 3 щётки для трубчатых щёткодержателей, на рисунке 4 для щеткодержателей коробчатой формы. Минимальное сечение щётки при такой конструкции – 5 × 8 *мм*.

На рисунке 5 показаны конструкции щёток для моторов стиральных машин. Вариант A используется преимущественно для DC двигателей, вариант B – для AC двигателей, с более затруднёнными условиями коммутации. Особенность таких щёток, то, что они устанавливаются под некоторым углом, от 10 до 28 градусов по отношению к коллектору.

На рисунках 6 и 7 показаны специальные конструкции щёток, имеющие дополнительный проводник, заделанный в тело щётки. Назначение дополнительного проводника своевременная сигнализация износа, при наличии дополнительного оповещающего электронного устройства в приборе, как правило, посредством индикации светодиода. После такого оповещения щётка работоспособна ещё 6 – 10 часов. На рисунке 8 щётка с высокой плотностью тока.

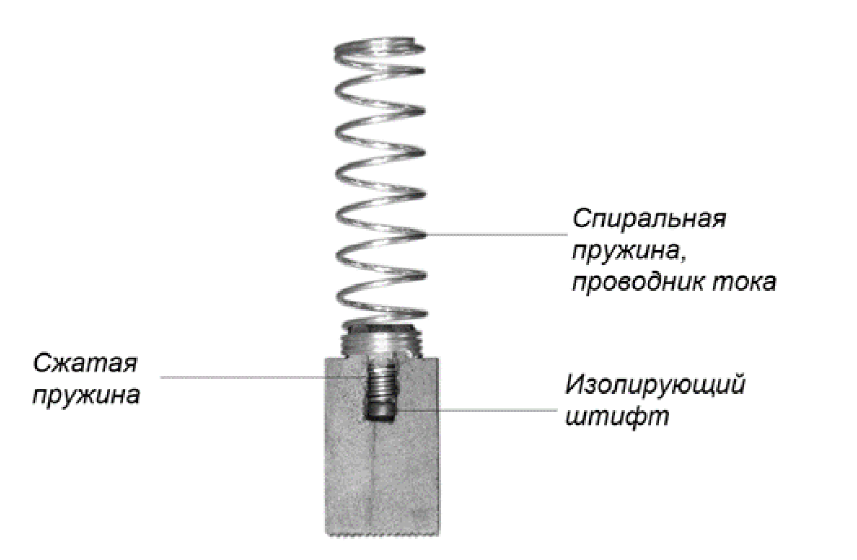


Рис. 1.

Гибкий
проводник
тока

Заполняющий
порошок

Разделительная
пластина

Сжатая
пружина

Изолирующий
штифт

Рис. 2.

Гибкий
проводник
тока

Заполняющий
порошок

Разделительная
пластина

Сжатая
пружина

Изолирующий
штифт

Рис. 3

Заполняющий
порошок

Заполняющий
порошок

Разделительная
пластина

Сжатая
пружина

Изолирующий
штифт

Рис. 4.

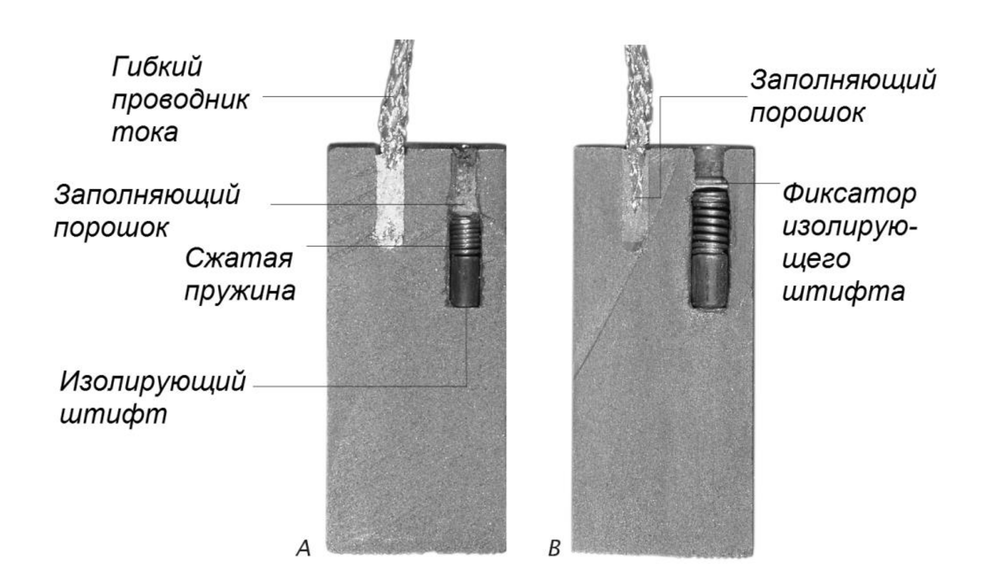


Рис. 5

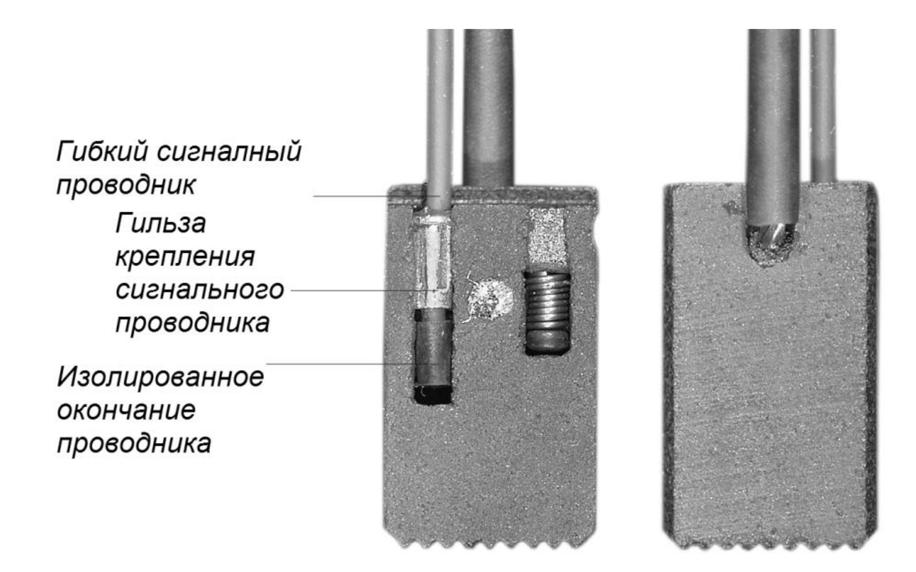


Рис. 6

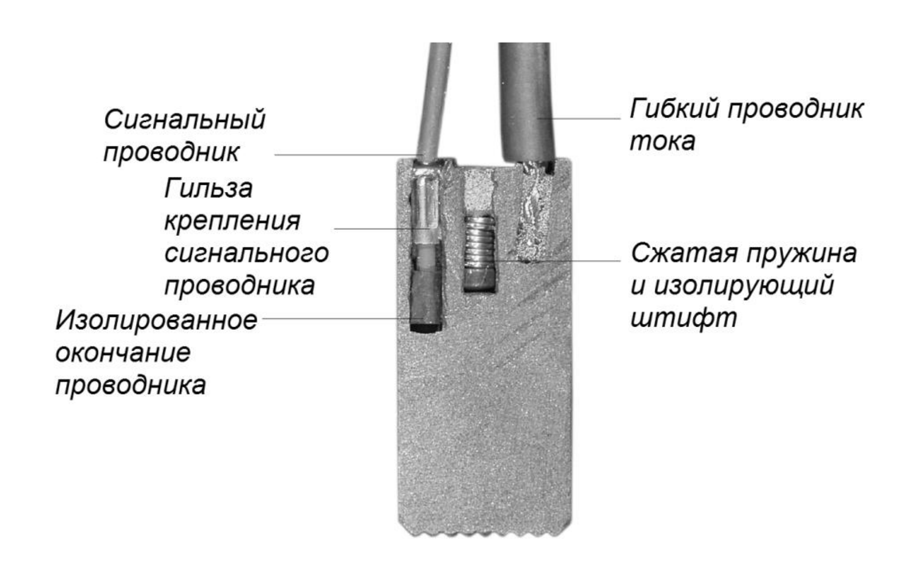


Рис. 7

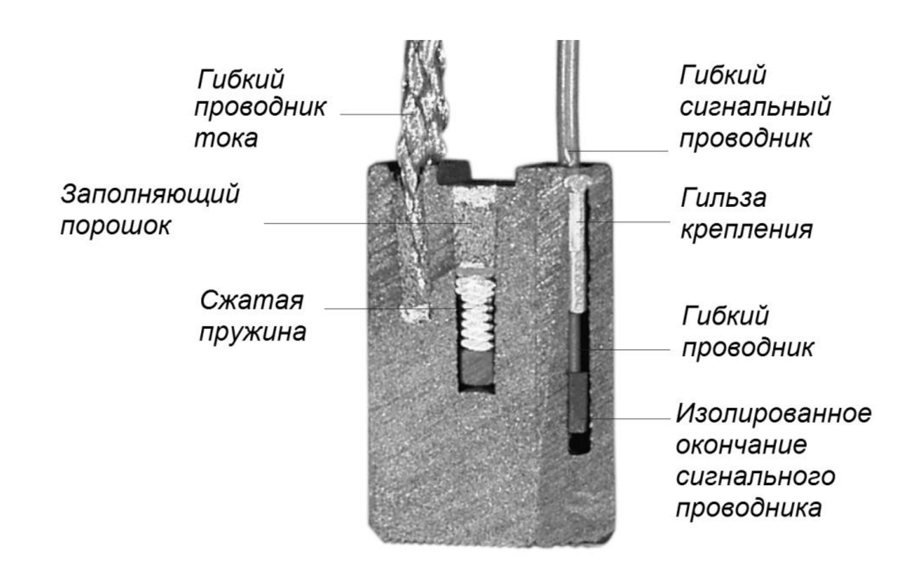


Рис. 8

По материалам www.schunk – group.com

Углеродные щетки для маломощных моторов. Электрическое воздействие на работу угольных щеток.

Углеродные щетки, используемые в универсальных моторах или моторах с постоянными магнитами постоянного тока подвергаются существенному электрическому напряжению, поскольку почти всегда отказываются от мероприятий в конструкций моторов смягчающих коммутацию из – за экономических соображений. Поэтому при разработке двигателя должны быть учтены следующие ссылки.

Нейтральная зона и смягчение условий коммутации.

Асимметрии, которые имеются в сердечниках полюсов, оказывают нежелательный эффект на щетки при нагрузке. Для того чтобы получить оптимальный срок службы щеток необходимо для обеспечения правильной коммутации соблюдать угол установки щеток по отношению к ротору, который учитывается по условиям работы двигателя. Требуемый угол установки должен быть определен в каждом конкретном случае. С универсальными моторами, часто эксплуатируемых в различных условиях нагрузки, с выбором угла возможен только компромисс. В реверсивных моторах выбрать угол коммутации невозможно. Увеличение искрообразования и сокращение срока службы щетки будет ожидаемым для таких двигателей. В моторах с изменением направления вращения концы катушек ротор соединены с коммутатором (коллектором) таким образом, как будто бы искажения не имеются в ходе эксплуатации. Несмотря на неблагоприятную позицию щетки по отношению к нейтральной зоне возможно достичь адекватного срока службы щетки при правильно выбранном материале щетки.

Трансформаторное напряжение между пластинами коллектора.

Трансформаторное напряжение пластин коллектора добавляет активный ток и дополнительную нагрузку на щетки. Это напряжение достигает максимального значения на пластинах коммутатора, когда соответствующая секция обмотки пересекает полюс. Поэтому рекомендуется для снижения значения напряжения увеличивать количество пластин коллектора и секций ротора (якоря) насколько это возможно. Недавний опыт показал, что при напряжения между пластинами 10 – 12 вольт, в особых случаях даже более высокого уровня, может быть достигнут удовлетворительным срок службы щеток если щетки выбраны правильно.

Регулирование магнитного поля и / или электронный контроль скорости.

Самым старым методом контроля скорости является регулирование магнитного поля полюсов. Но в некоторых схемах это создает неудобства для работы щетки. При 2 или 3 скоростях двигателя существует несколько схем которые частично основаны на секционировании катушки возбуждения. Использование поля только одной катушки создает большую разницу в износе двух щеток. Это связано с неравным полем между двумя коммутационными зонами. В экстремальных случаях часто разница в износе двух щеток может быть многократная. Это может быть предотвращено путем экспериментирования для определения наилучшего материала для щеток, и/или возможно с использованием двух различных материалов при изготовлении щеток (смесь компонентов). Аналогичные трудности можно ожидать когда в схеме управления двигателем используются диоды, тиристоры или симисторы. В зависимости от типа цепи здесь происходит наибольшая разница в износе двух щеток.

Так называемые односторонние цепи с диодами и тиристорами особенно критичны. Решением в таких случаях является использование материала щетки уменьшающее нежелательные явления, использование щеток с высоким удельным сопротивлением или щеток с определенными свойствами самоочистки. Но иногда в компоновке двигателя необходимо использовать различные щетки, которые определяются на основе экспериментов, исходя из электрического сопротивления, конкретной токовой нагрузки, углеродного материала и падения напряжения в переходном контакте щетка – коммутатор. Сопротивление щеток может варьироваться от 0,01 до более чем 3000 μOm.

Самое низкое значение 0,01 μOm достигается использованием материалов с высоким содержанием металла, значение более чем 3000 μOm может быть достигнуто с углеродно – графитовыми материалами. При использовании графитовых материалов с пропиткой сопротивление возможно более 8000 μOm.

Падение напряжения щетка – коммутатор является высоким по сравнению с падением напряжения внутри тела щетки. Это обусловлено, как правило, не большим числом контактных точек между щеткой и коммутатором. Сокращение числа контактных точек, в момент работы, сокращает сечение щетки, что приводит к увеличению сопротивления. Это называется сужением сопротивления. Еще одной причиной для падения напряжения является оксид меди, который образует на поверхности коммутатора. Возможно сократить обе потери причиненные продольным сопротивлением, а также потери переходного контакта, выбрав соответствующий материал или изготовление углеродной щетки с конкретными требованиями. Как правило необходимо использовать материалы щеток с содержанием металла для низковольтных машин с напряжением менее 36 вольт. Такие углеродные материалы имеют собственное низкое сопротивление и низкие переходные потери в контакте с коммутатором, чем материалы без содержания металла. Углеродные щетки с более высоким сопротивлением, как правило, используются для двигателей с напряжение более 42 вольт. Это в основном углеродистые материалы, а иногда и графит, пропитанный смолами если коммутатор не имеет межламельных пазов. Если коммутатор имеет пазы, щетки, как правило, изготавливаются из углерода, графита, пропитанного графита, а иногда и электрографитированных материалов. Последний в настоящее время используется лишь в редких случаях в маломощных моторах в связи с низким сопротивлением щетки. Углеродные материалы имеют высокое сопротивление которое снижает ток короткого замыкания. Если сопротивление и токовая нагрузка материала скоординированы, соответственно потери на переходном контакте остаются в оправданных пределах. Также углеродные материалы проявляют определенную способность очищения коммутатора. Очистка поверхности коллектора желательна, так как искрообразование наносит некоторый ущерб. Это гарантирует более длительный срок службы. С другой стороны углеродные щетки не должны быть слишком абразивными чтобы износ коммутатора был минимальным. Поэтому необходимо оптимизировать материал щеток для каждой конструкции мотора проведя соответствующие испытания.

Различные ограничения в отношении конкретных электрических нагрузок применяются для углеродных материалов используемые в маломощных моторах. Тем не менее эти значения следует рассматривать только как рекомендуемые значения, поскольку в конкретном случае учитываются общие условия работы, конструкция щеткодержателя и условия охлаждения так же оказывают существенное влияние. Несколько ниже значение электрических нагрузок должны быть приняты во внимание в случае регулирования мотора электронными схемами с применением тиристоров и симисторов, поскольку с такими двигателями среднее значение пикового тока, в некоторый момент, в течение миллисекунд может составлять до 500%. Это, в свою очередь является причиной высокого индуктивного напряжения в роторе (якоре), который приводит к кратким перегрузкам в контактной поверхности щеток.

Вообще говоря, слишком большой ток щетки уничтожает патину на коммутаторе и повышает истирание коммутатора. Столь же вредно если электрическая нагрузка является слишком низкой, поскольку является причиной увеличения трения. Поэтому принимается значение нагрузки от 5 до 10 $A/см^2$ для двигателей 220 – 240V. Для двигателей до 120V значение токовой нагрузки должна быть менее 20 $A/см^2$.

Jeff D. Koenitzer, P. E. Helwig products, inc Milwaukee, Wisconsin, USA

"The Effect of Spring Pressure on Carbon Brush Wear Rate" 2008

Предисловие

На протяжении десятилетий происходило обширное тестирование бесчисленного количества различных углеродных щеточных материалов постоянно развивающихся электрических машин с целью исследования продления их срока службы. Эта "черная магия" привела многих к постоянному стремлению к идеалу. Между тем щеткодержателям уделялось мало внимания. Стандартная процедура регулировки силы щеткодержателей состоит в том, чтобы снижать силу нажатия до тех пор, пока не станет заметным искрение, а затем настроить до следующей степени коммутации. Проверка силы пружины обычно связана только со значением под рычагом на пальце щеткодержателя. Различная литература предлагает давление пружин промышленных машин от 2,0 до 2,5 PSI (фунт на квадратный дюйм площади контактной поверхности щетки). Очевидно для определения надежных стандартов давления пружин необходимо тестирование. Более 25 лет уже прошло с момента первоначальной презентации "*Оценка влияния давления пружины на износ углеродной щетки*" на ежегодном открытом заседании горной ассоциации в Сент – Луисе, Миссури в июне 1983 года. Первоначальная реакция на документ, в котором высказывалось мнение, что давление необходимо увеличить почти в два раза от существующих норм, вызвало скептицизм. Тем не менее эта концепция была понятна, правдоподобна, и в последующем многие испробовали новую рекомендацию в течение следующих лет. Результаты превзошли все ожидания. Когда давление пружин было увеличено на новый рекомендуемый уровень типичный срок службы щеток увеличился на 50% и значительно уменьшилась необходимость покрытия щеткой контактной поверхности. Сегодня почти все стандартные рекомендации по давлению пружин были увеличены в соответствии с представленным исследованием с последующими улучшениями результатов в этой области. Как отражение влияния осведомленности о давлении пружин и реализации более плотного контакта можно сделать вывод о том, что в результате срок службы щеток может быть продлен. В связи с этим этот технический документ переиздан с некоторыми дополнениями. Мы надеемся, что сегодняшним пользователям щеток настоящим документом поможем в понимании функций продукта необходимым для поддержания эффективности работы машин.

Введение

Углеродная щетка скользя по электрическому контакту переносит ток от или к движущейся поверхности. Щетка исполняет эту функцию в пределах ограниченной механической системы. В отличие от большинства других электрических контактов щетки требуют более частой замены в результате чего увеличение срока износа щетки жизненно важный вопрос.

Щетка изнашивается под влиянием комбинации механического износа в результате трения и электрического износа, в результате чрезмерного сопротивления на контактной поверхности (искрение, дугообразование). Основная цель и область применения этого документа состоит в том, чтобы изучить соображения по снижению износа до минимума и тем самым продлить жизнь щетки и контактных поверхностей.

Механический износ.

Механический износ, вызван трением истирания или отрыва частиц с поверхности контакта. Действие аналогичное при писании мелом на доске. Трение пропорционально силе перпендикулярной к поверхности контакта. Увеличение давления на поверхность – причина увеличения трения, противоположной направлению движения (как показано на рисунке 1). Таким образом, сила трения F, увеличивает механическое изнашивание непосредственно с ростом давления, которое оказывает пружина с силой N. Коэффициент трения U определяется соотношением давления пружины N к силе трения F. Эта величина в первую очередь зависит от материалов, и температуре на движущейся поверхности. Очевидно, что движение резиновых материалов, например, по поверхность древесины повлечет за собой очень высокий коэффициент трения. И, наоборот, благодаря имеющейся тонкой пленки окисла (патины) на поверхности коммутаторов и колец для щеток характерен низкий коэффициент трения. Желательная толщина пленки на поверхности контакта составляет всего 40 – 60 ангстрем (50×10^{8} *см*. или 0,2 миллионных дюйма). Пленка состоит из оксида металла, воды, а также микрографитовых частиц. Эти вещества имеют низкий коэффициент трения, которые способствуют низкому коэффициенту трения и небольшому механическому износу щетки. Первостепенное значение для формирования надлежащей пленки имеет тип материала, уровень токовой нагрузки, абсолютная влажность и загрязнения атмосферы. Математическое выражение силы трения: $F = \mu \times N$, где F – сила трения, μ – коэффициент скольжения, N – давление. Основываясь на формуле трения и, как уже упоминалось ранее, следующий график показывает механический износ при давлении пружины. (рис. 2). В дополнение к коэффициенту трения, также важно отметить, что механическое изнашивание будет зависеть от скорости скользящих электрических контактов. В действительности показатель изменения механического износа или наклон графика изменятся пропорционально при увеличении или сокращении этих двух переменных. В любом случае повышение давления – причина постоянному увеличению механического износа щетки.

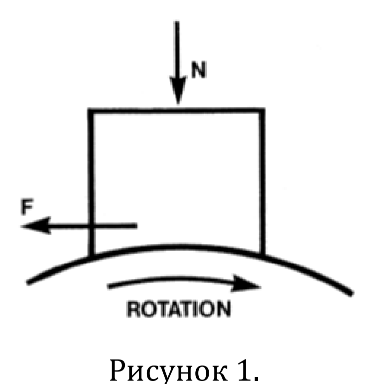


Рисунок 1.

Рисунок 2.

Электрические причины износа.

Электрический износ является результатом сопротивления скольжения между углеродной щеткой и контактной поверхностью. Если окисная пленка загрязнена пылью, маслом, частицами дыма, или коррозионно – активными химикатами, все из которых обладают плохой проводимостью, контактное сопротивление щетка – коммутатор увеличивается. Отделение воздухом, с высоким сопротивлением, щетки от поверхности контакта является наиболее очевидным условием причиной износа и электрической дуги. В этом случае, вероятно, причиной является грубая поверхность коммутатора или кольца или неисправный щеткодержатель. Независимо от причины, протекание тока через высокое сопротивление приведет к выделению энергии, высокой температуре, разрушительной дуги и тем самым быстрый износ щетки и контактной поверхности. Как и в случае механического износа изменение давления оказывает значительное влияние на износ. Бо́льшее давление является причиной падения напряжения и тем самым снижением износа, как в следующем графике. С другой стороны наблюдается резкое увеличение электрического износа, когда давление пружины снижается, согласно изгибу кривой (точка A на рис. 4).
Степень износа электрооборудования, непосредственно связанна с потерями $I^{2}\times R$ щетки к поверхности скольжения. Кривая износа будет перемещаться вверх или вниз в соответствии соотношения контактного сопротивления к площади токовой нагрузки через щетку. Важно отметить, что в то время как механическое изнашивание является главной причиной истирания материала щетки износ так же состоит и в эрозии, как щетки, так и контактной поверхности. Поэтому электрический износ может вызвать более серьезные проблемы, вплоть до пробоя и прогорания с высокой стоимостью ущерба.

Суммирование причин износа.

Для количественной оценки следует вывод, что трение является главной первичной причиной механического износа щетки, а падение напряжения является основным показателем электрического износа. В любой момент в ходе работы углеродные щетки изнашиваются как механически так электрически одновременно. Поэтому общий износ является суммированием механического и электрического износа. Сочетание графиков на рисунках 2 и 3 представлены результатом общего износа щетки связанным с давлением, представленным на рисунке 4. U – образная кривая полного износа на рисунке 4 показывает, что существует целый ряд промежуточных значений между точками X и Y, где общий износ щетка находится на минимальном уровне (M). Важно также отметить, что зачастую существует медленный темп износа с наивысшим допустимым давлением на щетку. Общая рекомендация состоит в снижении давления до тех пор пока искрение становится видимым, а затем следует корректировать увеличение давления до следующей степени коммутации. Многое из ранее опубликованного в литературе указывает, что этот идеальный диапазон давления составляет от двух до трех фунтов на квадратный дюйм площади щетки (140 – 210 $г/см^2$). Тем не менее показатели по многим подразделениям на местах, особенно в странах с так называемым постоянным стандартом, подняли вопрос о правильности этих рекомендаций. По этой причине были проведены более научно лабораторные испытания для определения давления пружины для определения оптимального срока службы щеток.

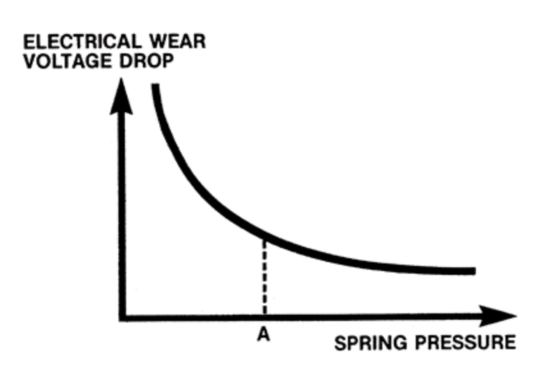



Рисунок 3.

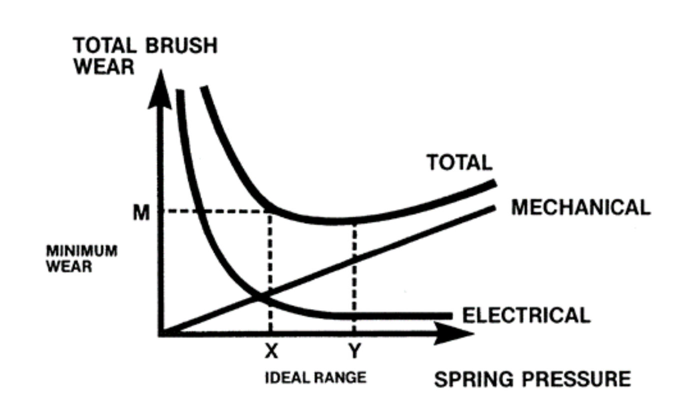


Рисунок 4.

Лабораторные испытания.

Цель этого испытания состоит в том, чтобы измерить коэффициент скольжения и падение напряжения на щетке при различных давлениях пружины для выявления идеального диапазона для минимального износа щетки, определить типичные значения для промышленного применения. Тест проводился с помощью электрографитового материала класса E57, широко применяемого в оборудовании с высоким DC напряжением. Влажность воздуха, атмосфера и температура была под строгим контролем, с тем, чтобы отделить желаемые параметры. Щетки были "в работе" три часа, с разными значениями падения напряжения и трения. Коммутаторная пленка была очищена между каждым измерением и последующим периодом запуском.
Испытания проводились с давлением пружины: 2 (140 *г/см*^{2}), 4, (280 *г/см*^{2}), 8 (560 *г/см*^{2}) и 12 (840 *г/см*^{2}) фунтов на квадратный дюйм площади щетки. При каждом соответствующем давления, были сделаны измерения на четырех уровнях контролируемой температурой, в целях имитации типичных режимов коммутации и окружающих условий; 160°F (71°C), 180°F, (82°C), 200°F, (93°C) и 220°F (104°C).

Лабораторные результаты.

Результаты теста трения механического износа, показаны на диаграмме I. Как и прогнозировалось в предыдущем обсуждении, результаты недалеки от прямой связи между коэффициентом трения и давлением. Повышение уровня давления пружины, по сути, является причиной увеличения трения и механического износа. Таким образом, точка Y на Рисунке 4, верхний предел оптимального диапазона. Именно на этом этапе и в последующий период, давление в первую очередь несет ответственность за механические воздействия. Однако, первичным значением этого мероприятия является электрический износ, неадекватное давление пружины, и нижний предел диапазона для максимального срока службы (точка X на рис. 4 или точка A на рис. 3). Поскольку при низких уровнях давления пружин, механический износа минимален, а электрический износ резко увеличивается, то можно сделать вывод о том, что нижняя граница определяется в первую очередь темпами падения напряжения или электрического износа.

Результаты теста падение напряжения показаны на диаграмме II. Данные отражены при типичной нагрузке 70А на квадратный дюйм. Эти данные свидетельствуют о резком увеличении падение напряжения и электрическом износе при давлением менее 4 PSI (280 *г/см*^{2}). Аналогичные результаты были найдены при недогрузке 40А на квадратный дюйм на графике III и перегрузке 100А на квадратный дюйм на графике IV. Снова формы данные кривых очень близки к предсказанным в ходе предыдущего обсуждения.

Анализ результатов.

Результаты этого лабораторного теста свидетельствуют о том, что *минимальный* рекомендуемый уровень давления пружины для крупных машин DC оборудования составляет *четыре фунта на квадратный дюйм* (280 *г/см*^{2}). При давлении менее этого падение напряжения увеличивается быстрыми темпами и следовательно вероятен быстрый износ щеток и контактной поверхности. Давление пружины 4,0 PSI (280 *г/см*^{2}) соответствует изгибу кривой в графике электрического износа или точке А на рис. 3. Согласованность результатов в различных условиях нагрузки дополнительно придает доверие к выводу, что 4 PSI (280 *г/см*^{2}) является критическим значением. Все применяемые углеродные щетки будут иметь износ связанный с давлением пружины, как показано на рисунке 4. В условиях эксплуатации наклон кривой механического износа может меняться вверх или вниз. Кривая будет изменяться в течении времени работы соответствующим образом. Каждое конкретное применение будет иметь свой собственный оптимальный диапазон давлений для максимального срока службы. Таким образом при определении надлежащего давления пружины для конкретного применения следует рассматривать возможные изменения от стандартной рекомендации 4 PSI (280 *г/см*^{2}). Причинами изменения давления могут быть:

• Удары и вибрации
• Понижение давления пружины
• Снижение давления с уменьшение высоты щетки
• Трение в держателе щетки в зависимости от положения по окружности коммутатора
• Изменения веса щетки в нижней части коммутатора

Результаты испытаний были определены в идеальных лабораторных условиях. В результате указанных выше уменьшение давление пружины приводит к недостаточному контакту. Это приводит к смещению операционной точки на графике на рисунке 4 влево, что приводит увеличению электрического и общего износа щетки. Когда применение включает эти факторы или при относительно низкой скорости давление выше, чем 4 PSI (280 *г/см*^{2}) будет более благоприятным. С другой стороны, при высокой скорости и очень низкой плотности тока, возможно уменьшить значение менее чем 4 PSI (280 *г/см*^{2}) для оптимального износа. Значительное увеличение с 2 PSI к рекомендованным 4 PSI (280 *г/см*^{2}) в качестве стандарта для промышленного применения DC дополнительно подтверждается тем фактом, что один хорошо известный производитель землеройного оборудования использовал эти руководящие принципы в течение многих лет и не уведомлял о чрезмерном износе щеток или коммутаторов от повышенного давления пружин. Основываясь на теории и результатах испытаний, представленные выше, неадекватное давление, как представляется, является основным источником непродолжительного срока службы щеток многих современных двигателей и генераторов.

Другие соображения по увеличению срока службы щеток.

Постоянное давление пружины важно для продолжительного срока службы щеток. Производители пружин указывают допуск на давление в 10%. Пружины теряют способность усилия после многих месяцев пользования. К тому же значение давления не связано с удлинением пружины диаметра D, так как показано на рисунке 5. С некоторыми конструкциями щеткодержателей постоянная сила пружины будет сокращаться быстрее, если она проводит ток даже небольшой силы. Для постоянной силы давления рекомендуется чтобы верхняя часть щетки была изолирована, чтобы ток не протекал через пружину, тем самым предотвращая ухудшение давления. Резиновый амортизатор на верхней части щетки выполняет не только изоляционную функцию, но и обладает способностью поглощать вибрации и удары. Таким образом, электрический износ минимизируется с более стабильным контактом щетки и низким падением напряжения. Важна так же плотность набивки конопатки жгутика и вырывное усилие в продлении жизни щетки, что хорошо известно во всей отрасли. Наконец имеет решающее значение для обеспечения максимального срока службы применение надлежащего материала для конкретного вида применения, действующих нагрузок и условий окружающей среды. Углеродные щетки часто являются причиной многих проблем на двигателях и генераторах. Тем не менее они просто реагируют на механические и электрические условия которым они подвергаются. Анализ и меры по исправлению этих условий позволит реализовать длительный срок эксплуатации щеток.

По материалам www.helwigcarbon.com

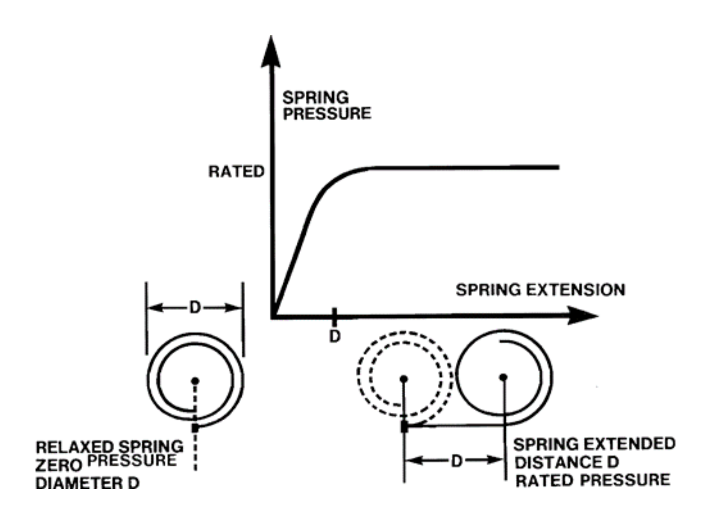
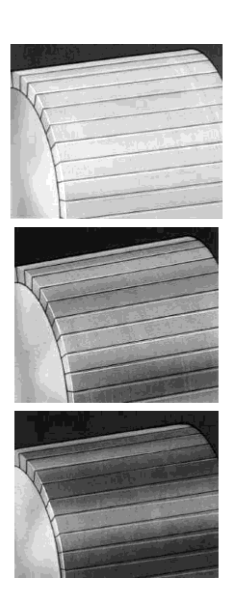


Рисунок 5.

Раннее распознавание и корректирующие меры могут помочь избежать дорогостоящих вне плановых простоев. Наличие окисной пленки (патины) на поверхности коллектора является основным показателем эффективности любого двигателя и генератора. Имеющийся равномерный цвет от светло – коричневого тона до темно – коричневого указывает на удовлетворительное состояние коммутации. Наличие патины способствует уменьшению трения щетки и в тоже время не значительно препятствует прохождению тока. Не равномерный цвет и деформации указывают на развивающийся быстрый износ щетки и порчу коммутатора.

Быстрый износ.

Ускоренный износ щеток, с чрезмерным образованием угольной пыли и искрения, происходит по нескольким причинам. Причинами способствующими быстрому износу являются все определения приведенные ниже. Кроме того, шероховатость или неоднородность поверхности коммутатора, такие, как выступание пластин, слюды или заусенцы, не округлая контактная поверхность приводит к радиальному биению, искрению и вибрации. Убедитесь, что коммутатор находится в хорошем состоянии, давление на щетку достаточно, материал щетки соответствует имеющейся плотности тока.



Светлая патина. Работа щетки правильная. Небольшая токовая нагрузка, низкая влажность среды, отсутствие загрязнений.

Патина светло – коричневого цвета. Идеальное состояние коммутатора и щетки. Наименьший износ щетки и коммутатора.

Темная патина. Результат высокой нагрузки, высокой влажности. Цвет патины не коричневых тонов указывает на высокое сопротивление и трение.

Недостаточность нагрузки.

Низкая плотность тока для установленных щеток или коэффициент трения не соответствует условиям эксплуатации. Причина: оборудование предназначено для большей нагрузки, а работает при меньшей, чем указано на паспортной табличке. В результате – не догруженность током с высоким коэффициентом трения, образование щеточной пыли и в конечном итоге образование нитевидных бороздок. Рекомендуется увеличение плотности тока, замена щеток с соответствующей плотностью тока или с соответствующим коэффициентом трения.

Нитевидные борозды: Медь с вращающейся поверхности переходит на скользящую поверхность щетки. В результате – износ поверхности контакта с истиранием щетки и коллектора. Причина: часто из – за низкой плотности тока и неадекватному давлению на щетку. Могут быть также по причине загрязнения. Следует проверить фактическое действующее давление, убедиться что оно в соответствующем диапазоне для данного класса щетки. Если это возможно, устранить попадание загрязнений.

Образование канавки под щеткой, выработка.

Результат действия абразивов, пыли или чрезмерного износа электрической контактной поверхности. Причина: чаще всего из – за плохого электрического контакта в результате искрения и электрической эрозии коммутатора, также из – за механического износа или неверного класса щеток. Недостаточное давление, низкая плотность тока или чрезмерный ток также возможен. Убедитесь, что контактная поверхность округлая, выступание пластин менее чем .002" – .0003". Биение коммутатора должно быть менее 6 mils. Проверьте плотность тока и давление пружины.

Дуга.

Горение дуг в области контактной поверхности. Причина: плохой электрический контакт, неадекватное давление (см. таблицу), грубая поверхность коммутатора или кольца, загрязнения, заусенцы в держателе щетки препятствующие свободному перемещению щетки. Биение контактной поверхности должны быть в пределах 0.002 дюйма. Проверьте, что давление пружины соответствует 4 – 6 psi для устройств постоянного тока и для промышленных приложений. Удалите загрязнения в держателе.
Повреждение щетки, сколы: причина – не округлая поверхность коммутатора, биение коммутатора, вибрация, выступание пластин, слюды или задиры могут повреждать набегающий край щетки. Проверьте надлежащее состояние контактной поверхности, проверьте давление пружины для соответствующей нагрузки.
Давление пружины. Наиболее распространенной причиной неудовлетворительного состояния патины является неадекватное давление. Для справки в таблице ниже указаны рекомендуемые диапазоны давления для различных областей применения.

Промышленные устройства постоянного тока	4 – 6 *psi*	280 – 420 *г/см*^{2}
Кольца синхронных машин	3,5 – 4,5 *psi*	246 – 316 *г/см*^{2}
Кольца быстроходных турбин с мягкими графитными щетками	2,5 – 3,5 *psi*	175 – 246 *г/см*^{2}
Метало – графитные щетки	4,5 – 5,5 *psi*	316 – 386 *г/см*^{2}
Маломощные машины	4 – 7 *psi*	280 – 490 *г/см*^{2}
Тяговые машины	5 – 8 *psi*	350 – 560 *г/см*^{2}
Для щеток с углом боле 25 град. допустимо превысить указанные значения на 0,5 – 1 psi = 35 – 70 *г/см*^{2}		
Давление пружины (psi) = Значение в фунтах / ширина щетки (in.) × толщина щетки (дюймов)		

Угольно – графитные щетки предназначены для использования на малых скоростях, применимы при низких плотностях тока и низких средних напряжениях. Этот тип был разработан в начале истории двигателей и генераторов, и поэтому наиболее часто встречаются на старом оборудование, в частности на коммутаторах имеющих слюдяную межламельную изоляцию.

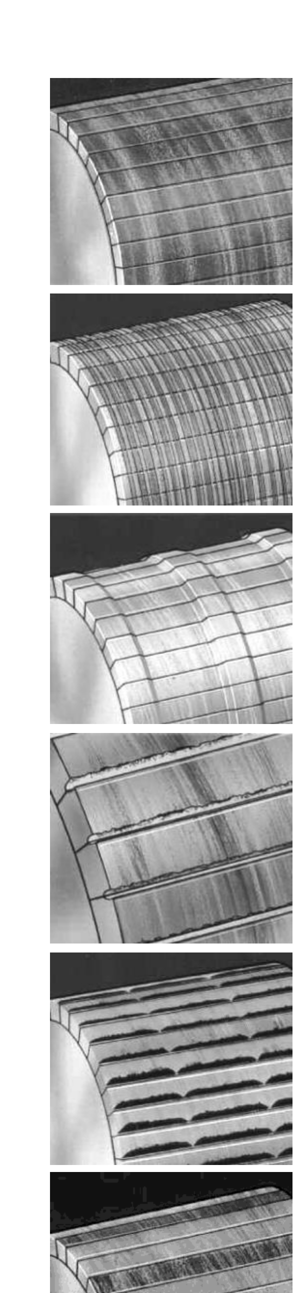
Графитный тип щеток предназначен для использования в специальных приложениях, требующих низкого трения. Когда щетки должны работать при очень низких плотностях тока или очень высоких скоростях используется графитный класс.

Электрографитные щетки являются наиболее распространенным классом, используются на современном оборудовании с хорошей производительностью при высоких напряжений с высокой плотность тока и высокой скоростью. Существует широкий спектр характеристик для этой категории, хорошо переносят перегрузки.

Меднографитовые щетки содержат 15 – 95% меди или медных сплавов. Более высокая проводимость и малое падение напряжения позволяет использовать их с очень высокими плотностями тока при низких напряжениях.

Серебро – графитные щетки содержат серебро в количестве 15 – 95%. Более высокая проводимость и малое падение напряжения позволяет так же использовать их с очень высокими плотностями тока при низких напряжениях.

www.helwigcarbon.com



Штриховые бороздки. Результат переноса металла на поверхность скольжения щетки. Недостаточность нагрузки и/или недостаточность давления являются наиболее распространенными причинами. Загрязнение может быть также одним из факторов.

Нитевидные борозды. Дальнейшее развитие образования штриховых борозд, так как переносимый металл приводит к порче поверхности коммутатора. При увеличении нагрузки и увеличении давления этого возможно избежать.

Образование канавки под щеткой, выработка. Могут возникнуть в результате чрезмерно абразивной щетки. Более распространенной причиной является недостаточный электрический контакт в результате искрения и вследствие этого порчи поверхности коммутатора. Увеличение давления уменьшает износ.

Наволакивание меди – причина в перегреве коммутатора и размягчении меди. Загрязнение, вибрация и как следствие вытягивание меди. Увеличение давления сократит температуру коммутации.

Выгорание краев пластин результат бедной коммутации. Убедитесь, что тип щетки имеет достаточное падение напряжения, что щетки правильно установлены на нейтраль и дополнительный полюс включен в цепь правильно.

Чередование потемнения пластин результат неисправности обмотки.

Диагностика нарушений нормальной работы скользящего контакта электрических машин (по данным фирмы Ле Карбон Лорен) Лившиц Павел Сергеевич, "Скользящий контакт электрических машин" 1974 г.

Признаки неудовлетворительной работы	Возможные причины (№), вызывающие их возникновение (см. приводимый ниже перечень)
I. Коллекторные машины.	
А. Электрощетки	
вибрируют	6, 15, 17, 21, 22, 27, 33, 49, 50, 53, 57, 62
скалываются	15, 17, 19, 22, 26, 29, 30, 42, 46, 50, 52, 53, 57, 62
расслаиваются	11, 16, 18, 22, 26, 34, 44, 53, 57, 66
перегреваются	5, 11, 20, 23, 24, 25,32,33,34,36, 44, 47, 53, 57, 60, 63, 68
зависают	3, 8, 11, 16, 40, 41, 51, 57
скрипят	6, 15, 17, 33, 49, 53
Быстро изнашиваются	
равномерно	3, 6, 27 44, 47, 50, 53, 59, 62
не равномерно	5, 10, 11, 16, 25, 34, 36, 44, 47, 53, 59, 64, 68
не симметрично	3, 15, 21, 22, 26, 29, 30, 33, 36, 46, 49, 50, 52, 53, 57, 62, 66
Искрят	
все электрощетки по поверхности	3, 5, 6, 15, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 32, 33, 34, 36, 44, 47, 49, 50, 51, 53, 57, 60, 62, 63, 64, 69
отдельные электрощетки на одном или разных бракетах	10, 34
на набегающей грани	21, 22, 26, 29, 42, 46, 52, 56, 62, 66, 67
на сбегающей грани	4, 5, 23, 32, 47, 55, 57, 60, 63, 68, 69
мелкое перемежающееся искрение	10, 15, 17, 19, 21, 22, 25, 27, 29, 33, 46, 49, 52, 53, 55, 62, 64, 66
вылетают искры	4, 5, 17, 22, 26 29, 34, 46, 52, 66, 67
глянцуется контактная поверхность	25, 32, 43, 68
подгар и разрушение контактной поверхности	4, 5, 6, 7, 47, 58(б)
риски и задиры на боковых гранях	3

Б. Электрощеточная арматура	
Токоведущий провод.	
перегревается	1, 10, 11, 16, 34, 35, 36, 47, 53
корродирует	4, 5
растрепывается	4, 5, 36 , 38 , 39 , 41
выдергивается	15, 17, 22, 26, 33, 34, 36, 49, 50, 53, 62
наконечник перегревается	34, 35, 36, 47
В. Коллектор	
Поверхность скольжения.	
чернеет	1, 5, 10, 25, 26, 28, 32, 34, 47, 50,
нагревается	51, 53, 64, 68, 5, 25, 31, 33, 34, 47, 50, 53, 57
деформируется	65, 68, 28, 46, 66
форсированно изнашивается	3, 17, 58(а), 68
глянцуется	5, 17, 57
покрывается рисками, задирами, бороздками	3, 4, 5, 7, 8, 11, 16, 25, 32, 34, 51, 53, 57, 59
покрывается равномерно расположенными пятнами	68
покрывается неравномерно расположенными пятнами	3, 4, 5, 6, 7, 47, 58(б)
покрывается бороздками	3, 4, 5, 7, 8, 11, 16, 25, 32, 34,
В. Коллектор	
Поверхность скольжения.	
становится полосатой	51, 53, 59 4, 5, 7, 10, 23, 25, 34, 36, 40, 41,
приобретает волнистость	44, 49, 51, 53, 59, 17, 32, 53, 59
Отдельные пластины.	
подгорают	1, 10, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30,
приобретают разную окраску	32, 34, 50, 55, 57, 60, 63, 64, 66, 67, 68, 5, 27, 28, 32, 44, 45, 48, 52, 53, 55, 62, 66, 67
подвергаются эрозионному износу	7, 11, 16, 32, 40, 41, 49, 51, 53, 57
Г. Щеткодержатель	
перегревается	3, 34, 55, 58(б)
на внутренних стенках обоймы образуются риски и задиры	3

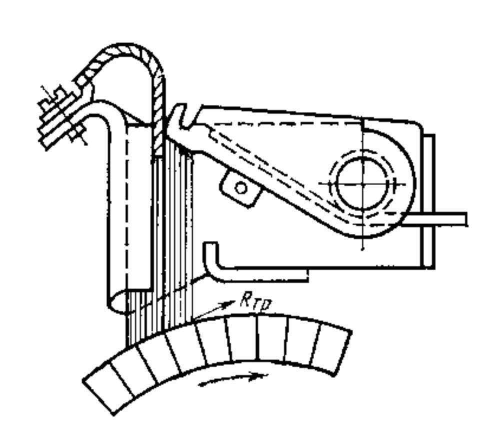
II. Машины с контактными кольцами	
А. Электрощетки	
скалываются	12, 14, 52, 53, 56, 57, 62, 66
расслаиваются	11, 16, 18, 53
перегреваются	2, 5, 8, 10, 11, 20, 31, 33, 35, 36, 53
зависают	3, 8, 11, 16, 40, 41, 51, 57
Быстро изнашиваются	
равномерно	3, 6. 44, 53, 62
неравномерно	5, 10, 11, 34 36, 53
Искрят	
по всей контактной поверхности	2, 34, 53, 58, 69
по кромке	8, 11, 16, 19, 33, 46, 52, 53, 56, 57, 62, 66, 69
глянцуется контактная поверхность	37, 39
Б. Электрощеточная, арматура	
Токоведущий провод.	
перегревается	1, 10, 31, 34, 35, 36
корродирует	4, 5
выдергивается	4, 34, 36, 53, 56, 62
Наконечник.	
перегревается	10, 32, 34, 36
В. Контактные кольца	
подгорают	2, 12, 19, 40, 54, 61
деформируются	13, 45, 48, 66
покрываются бороздками	2, 4, 6, 11, 12, 16, 1.9, 20, 40, 41, 53, 57. 67
перегреваются	5, 21, 33, 47, 53, 57, 65
приобретают разную окраску	13, 45, 48, 53, 61, 66
приобретают волнистость	45, 48, 54, 56, 61, 66
подвергаются эрозионному износу	7, 11, 16, 19, 20. 32, 40, 41, 51, 53, 57, 67

Приведенные в правой части сводки цифры указывают на возможную причину того или иного нарушения нормальной работы узла токосъема. Причины эти следующие:

1. Зазоры магнитной системы не одинаковы.
2. Воздушное давление под электрощеткой выше атмосферного.
3. Запыленная атмосфера.
4. Атмосфера загрязнена газами, вызывающими коррозию.
5. Атмосфера насыщена химическими веществами.
6. Атмосфера содержит очень мало влаги.
7. Атмосфера содержит очень много влаги.
8. В атмосфере содержатся липкие и клеящие вещества.
9. Между кольцами осаждается электрощеточная пыль.
10. Неравномерное нажатие на электрощетки.
11. Заедание деталей механизма щеткодержателя.
12. Электрощетка свешивается с контактного кольца.
13. Неравномерное расположение электрощеток на кольцах синхронных машин, вызывающее неравномерный нагрев разных участков кольца.
14. На контактной поверхности электрощеток имеются неровности, воспроизводящие неровности поверхности скольжения кольца.
15. Угол наклона реактивных электрощеток мал.
16. Заедание электрощеток в щеткодержателях,
17. Электрощетки слишком твердые.
18. Электрощетки слишком мягкие.
19. Электрощетки слишком тяжелые.
20. Электрощетки имеют слишком большую площадь поперечного сечения (повышенные механические потери).
21. Чрезмерно большой зазор между электрощеткой и обоймой щеткодержателя.
22. Увеличенное расстояние между коллектором и нижней кромкой обоймы щеткодержателя.
23. Намагничивающая сила добавочных полюсов не соответствует требуемым условиям работы.
24. Намагничивающая сила добавочных полюсов слишком велика.
25. Намагничивающая сила добавочных полюсов слишком мала.
26. Местное биение пластин коллектора.
27. На пластинах коллектора совсем не сняты или плохо сняты фаски.
28. Коллекторные пластины замкнуты.
29. Деформация коллектора.
30. На поверхности коллектора плоские места (лыски).
31. Контактное сопротивление электрощеток слишком велико.
32. Контактное сопротивление электрощеток слишком мало.
33. Контактная поверхность электрощеток и коллектора слишком заполирована ("остеклена").

34. Неравномерное распределение тока между параллельно включенными электрощетками.
35. Размеры наконечника токоведущих проводов выбраны неправильно.
36. Размеры токоведущих проводов и их наконечников выбраны неправильно, или они некачественно соединены.
37. Токоведущие провода соприкасаются с контактным кольцом.
38. Материал токоведущих проводов слишком жесткий.
39. Токоведущие провода слишком длинные.
40. Токоведущие провода слишком короткие.
41. Токоведущие провода недостаточно эластичные.
42. Расшатан фундамент машины.
43. Высокое межламельное напряжение.
44. Значительные колебания нагрузки.
45. Местное взаимодействие коллектора с материалом электрощеток при остановке машины.
46. Дебаланс машины.
47. Перегрузки машины.
48. Машина останавливается всегда в одном и том же положении
49. Машина продолжительное время работает с очень малой или нулевой нагрузкой.
50. Выступает изоляция между коллекторными пластинами.
51. Набрасывание смазки.
52. Подшипник машины изношен.
53. Несовершенное качество электрощеток.
54. Материал контактного кольца содержит вредные примеси.
55. Периодические изменения (или гармонические составляющие) нагрузочного тока.
56. На поверхности контактного кольца имеются плоские места (лыски).
57. Давление пружин щеткодержателей выбрано неправильно.
58. Давление пружин щеткодержателей завышено (а) или занижено (б).
59. Неправильная установка электрощеток в радиальном направлении.
60. Неправильная расстановка электрощеток по окружности коллектора.
61. Очень большой пусковой ток.
62. Изношенный щеткодержатель.
63. Ширина (размер t) электрощеток выбрана неправильно.
64. Несимметричное расположение электрощеток.
65. Неудовлетворительная вентиляция.
66. Вибрации из-за дефектов в системе передачи.
67. Биение в машине (особенно в машине вертикального исполнения).
68, Дефект обмоток машины.
69. Неправильно выбрана марка щеток.

Для улучшения коммутации желательно неодинаковое сопротивление щетки, увеличенное в поперечном направлении и уменьшенное – в продольном. Такая щетка, называемая слоистой, состоит из склеенных изоляционным клеем продольных пластинок щеточного полуфабриката. Она меньше нагревается и имеет меньшее падение напряжения в продольном направлении. Двойная щетка представляет собой две щетки, установленные в общем щеткодержателе, которые могут перемещаться относительно друг друга. Такие щетки, благодаря разделяющей их поверхности, имеют увеличенное сопротивление для поперечного тока коммутации, а для тока нагрузки – такое же, как и при целой щетке. Разрезные щетки, благодаря их меньшой ширине, по сравнению с целой щеткой лучше пришлифовываются к коллектору и дают лучший контакт. Для увеличения поперечного сопротивления щеток можно на рабочей поверхности существующих щеток прорезать несколько взаимно перпендикулярных канавок шириной 1 *мм*. и глубиной 3 *мм*. Благодаря этим надрезам улучшается также вентиляция, а следовательно, и охлаждение щеток.



Щеткодержатели реактивного типа: щетки в нем установлены не по радиусу коллектора, а под углом 26–28° навстречу вращению коллектора. Нажим на щетку создается пружиной (см. рис.), которая рычагом прижимает щетку к коллектору и к передней стенке корпуса щеткодержателя. Между щеткой и упором предусмотрен зазор 0,5–0,7 *мм*. для предотвращения зависания щетки. При вращении якоря реакция силы трения $R_{тр}$ снижает давление щетки на переднюю стенку щеткодержателя. Ввиду этого трение щетки уменьшается, и она не отрывается от неровностей коллектора даже при большой частоте вращения. В результате резко снижается вибрация щетки, а искрение под ней становится незначительным.

Наклонный щеткодержатель по сравнению с радиальным обеспечивает меньшие силы трения между щеткой и щеткодержателем и вследствии этого более спокойную работу щетки, Недостатком является то, что применять его можно лишь для одного направления вращения.